INSTITUTUL DE MEDICINĂ IAȘI

LABORATORUL DE FIZICĂ MEDICALĂ

ELEMENTE DE FIZICĂ MEDICALĂ

Dr. I. ȘTEFAN

VOL. III.

~1957~

LITOGRAFIA INSTITUTULUI DE MEDICINĂ IAȘI

Scanned with OKEN Scanner

TABLA DE MATERII

Istoric. . . . . pag. 1
Natura electricităţii . . . . . " 4
Electricitatea statică . . . . . " 6
Legi . . . . . " 9
Procedee de electrizare . . . . . " 9
Caracterele electricităţii statice . . . . . " 14
Aparate de măsură ale e.s. . . . . " 28
Maşini electrostatice . . . . . " 29
Efectele electr.statice . . . . . " 33
Electricitatea dinamică . . . . . " 42
Unităţi de măsură . . . . . " 43
Legile curentului electric . . . . . " 50
Legea lui Ohm . . . . . " 50
Legile lui Kirchoff . . . . . " 59
Surse de electricitate dinamică . . . . . " 78
Pila voltaică . . . . . " 78
Pila de concentraţie . . . . . " 83
Pila de gaz . . . . . " 85
Pilă de oxidare şi reducere . . . . . " 86
Pila fotovoltaică . . . . . " 87
Pila etalon . . . . . " 88
Semi-elementele . . . . . " 89
Determinarea experimentală a f.e.m. . . . . " 94
Determinarea electrometrică a pH-ului . . . . . " 98
Determinarea electrometrică a rH-ului . . . . . " 104
Efectele curentului electric . . . . . " 116
Efectul caloric . . . . . " 116
Efectul termoelectric . . . . . " 121
Efectul termoelectronic . . . . . " 124
Efectul chimic . . . . . " 126
Magnetismul . . . . . " 156
Efectul magnetic . . . . . " 162
Efectul biologic . . . . . " 186
Clasificarea curenţilor electrici . . . . . " 203
Curentul de inducţie . . . . . " 204
Curentul galvano-faradic . . . . . " 233
Curentul alternativ . . . . . " 235
Curentul ondulator . . . . . " 243
Curentul pulsatil şi redresat . . . . . " 244
Curentul oscilant . . . . . " 248

Trecerea curentului electric prin gaze . . . . pag. 273
Raze catodice . . . . . " 280
Raze pozitive . . . . . " 299
Oscilaţii şi unde. Gama radiaţiilor . . . . " 301
Unde herţiene . . . . . " 303
Razele infraroşii . . . . . " 305
Razele visibile . . . . . " 306
Razele ultraviolete . . . . . " 307
Razele roentgen . . . . . " 312
Razele gama. Radioactivitatea . . . " 333
Razele cosmice . . . . . " 362
Raze (unde) corpusculare . . . . . " 365
Acţiunile biologice ale radiaţiilor ionizante . . " 366
" 378
Electricitatea animală . . . . . " 414
Accidentele electricităţii . . . . . "

Istoric

Cam cu 600 de ani înaintea erei noastre par să fi fost observate primele fenomene de electrizare de către Thales din Millet care constată că prin frecarea chilimbarului galben, acesta atrage corpuri mai uşoare.Primele fenomene de magnetizare se întîlnesc la Platon, deoarece el spune că piatra magnetică atrage fierul. Pe la anul 1600, W.Gilbert, medicul reginei Elisabeta a Angliei face o carte numită De Magnete. Tot el este acela care introduce termenul de electricitate (electron-chilimbar).

Otto de Guericke, renumit prin descoperirea maşinei pneumatice, a dotat ştiinţa cu prima maşină electrică pe la anul 1671.

Stephen Gray (1729) stabileşte existenţa celor două feluri de corpuri : conductori şi izolanţi iar Charles Francois de Cisternay Dufay, la 1733 arată existenţa celor două feluri de electricităţi.

La 1746 se descoperă la universitatea din Leyda, butelia care îi poartă numele,de către prof. Pietr van Muschenbroek sau elevul acestuia, Cuneus.

Ruşii Rihman şi M.V. Lomonosov lucrează din 1745 la rezolvarea tainelor electricităţii, lucru care la 26 iulie 1753 costă viaţa lui Rihman care moare electrocutat de un fulger. Mai norocos decît el,Benjamin Franklin (1706-1790) la 1752 aduce dovada încărcării norilor cu electricitate. Tot el are meritul de a fi instalat pe o casă din Filadelphia primul paratrăsnet la 1780, deşi primul paratrăsnet a fost construit Procopie Devisch într-un sat modest din Cehoslovacia, dar care a fost distrus de ţărani din cauza superstiţiei că alungă ploile.

Toate descoperirile care s-au făcut pînă acum constituie faza preştiinţifică a electricităţii, căci se stabilesc o serie întreagă de fenomene fără să se lege între ele şi fără a se stabili legi ştiinţifice.

Faza ştiinţifică începe cu Charles Augustin de Coulomb (1736-1826) care la 1785 stabileşte legea cantitativă a atracţiilor electrice şi magnetice prin analogie cu legea atracţiei universale a lui Newton; printr-o altă analogie (atracţia gravităţii este introdusă noţiunea de potenţial de către Lapla-

Poisson şi Green.

Pe la sfîrşitul secolului al XVIII-lea, medicul Florentin Ludovico Galvani, prof.de Anatomie la universitatea din Polonia, în urma unor experienţe care le făcea cu preparate neuro-musculare, a observat că de cîte ori aceştea care erau atîrnate cu cîrlige de cupru, atingeau balconul care era de fier, se contractau, de unde, Galvani credea că a descoperit secretul electricităţii animale. Alessandro Volta (1745-1827) care era prof.la universitatea din Pavia, nu se împacă cu această concepţie şi construieşte la 20 martie 1800 vestita sa pilă formată din bucăţi circulare de cupru şi zinc. In felul acesta la naştere electricitatea dinamică, introducîndu-se şi noţiunea de debit sau intensitate.

Ca urmare a descoperirii pilei electrice, apar:
- fenomenul electrolizei (Humpry Davy 1801);
- arcul electric (Vasile Petrov 1803);
- legea rezistenţii electrice (Georg Simon Ohm 1827);
- se stabilesc legile electrolizei (M.Faraday 1833).

Jean Christian Oersted (1777-1825), prof.la Copenhaga, constată acţiunea curentului electric asupra magnetelor, iar André Marie Ampère (1775-1836) găseşte legi şi stabileşte o legătură între aceste două fenomene. Apare astfel electromagnetismul între anii 1820-1826.

La 1821 fizicianul german Seebeck, lucrînd cu circuite metalice de cupru şi bismut sudate la capete, observă fenomenul termoelectric.

Tot Michel Faraday la 29 august 1831 este acela care descoperă şi fenomenul inducţiei, fenomen care stă la baza electricităţii moderne. Trei ani mai tîrziu, prof.rus E.H.Lenz de la universitatea din Petersburg, dă regula generală pentru determinarea sensului curentului indus.

La 1841, James Prescott Joule, izbuteşte să măsoare energia curentului electric pe baza fenomenelor termice ce îl întovărăşesc, stabilind şi legile după care electricitatea se transformă în căldură.

După cum magnetismul capătă o unitate, practic prin Coulomb şi teoretic prin Ampère, tot astfel electromagnetismul capătă o unitate, teoretic prin

Maxwell şi practic prin Heinrich Hertz care la 1886 pune în evidenţă undele electromagnetice ce se propagă cu aceeaşi viteză ca şi lumina. Se face astfel legătura între lumină şi electricitate. Apogeul este atins prin aplicarea undelor electromagnetice la telegrafia fără fir (Alexandru Stepanovici Popov 1859-1905 şi Marconi).

In timp ce teoria lui James Clark Maxwell (1831-1879), care spunea că electricitatea întocmai ca şi lumina se manifestă sub formă de linii de forţă ce parcurg mediul înconjurător corpului electrizat şi că energia electrică s-ar găsi tocmai în acest mediu, părea de nezdruncinat, apare teoria electronică a olandezului Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928). Această nouă teorie presupune pe scurt că fenomenele electromagnetice ce se petrec în natură se bazează pe aranjamentul şi mişcarea unor particole materiale imfime încărcate cu electricitate negativă (electronii). El a prevăzut că emisia luminoasă poate fi influenţată de un cîmp electromagnetic puternic care modifică mişcarea electronilor. Succesul a fost considerabil, căci la 1896 suedezul Zeeman probează că o lumină monocromatică - deci cu o singură lungime de undă - dacă este supusă unui cîmp magnetic, îşi modifică lungimea de undă pentru a dadouă sau trei lungimi de undă. Această teorie explică foarte bine fenomenul electrolizei şi conductibilităţii gazelor, căci prin descărcări în gaze, undele se pot transforma în electroni, şi invers electronii, în unde electromagnetice, luminoase.

Primul dintre astfel de schimburi îi aparţine lui W.K.Roentgen care la 1895 descoperă razele X; se descoperă apoi radioactivitatea de către H.Becquerel (1896), radiumul de către soţii Curie (între anii 1898-1903). Tot în cadrul teoriei electronice, Rutherford (1871-1937) aduce completări, se descoperă particolele ce alcătuiesc materia : protonul (Rutherford 1919), neutronul (Chadwick 1923), pozitronul (Anderson 1932), şi electronul greu (1937).

Nici teoria lui Maxwell, nici cea a lui Lorentz nu explicau raporturile ce există, pe de o parte între undele luminoase şi razele X ce lovesc un corp material, iar pe de altă parte cu electronii ce sînt smulşi din acesta, fenomen cunoscut sub numele de fenomenul fotoelectric. Max Planck la 1900 dă o nouă teorie -a cvantelor - care prin Albert Einstein(1879-

1956), la 1905 a interpretat acest fenomen, iar prin Niels Bohr în 1913, se explică o serie de fenomene pure din optică şi electricitate. Această teorie sub ultimul ei aspect - mecanica ondulatorie - a lui Louis de Broglie (1925) şi E.Schroedinger (1926), stabileşte raporturile dintre masa electronului şi fenomenele ondulatorii electromagnetice.

Cercetările moderne se bazează mai ales pe dezintegrarea atomilor, cunoscîndu-se astfel nucleul atomic. Incepînd cu Rutherford (1918) se capătă dezintegrări stabile, iar prin soţii Iréne Curie şi Fr.Joliot (1934) se capătă radioactivitatea artificială, adică continuarea prefacerilor şi expulzării de particole cîtva timp după încetarea bombardării atomice, prin bombardarea cu particole alfa a elementelor uşoare.

Teoriile aproape că nu se mai pot ţine de marile descoperiri survenite mai ales în ultimul timp; să amintim în treacăt de Radar şi televiziune,pe lîngă care sînt de prevăzut mereu altele. De aceia pe drept cuvînt, secolul XX este secolul electricităţii.

Electricitatea a ajutat şi la rîndul ei este ajutată de progresul tehnic, care condiţionează o dezvoltare cît mai ample a întregii ştiinţe.

Natura electricităţii

Deşi asupra acestui punct nu sîntem încă elucidaţi perfect, avem totuşi în rezumat următoarele răspunsuri :

- că ar fi un fluid, concepţie care a ajutat la dezvoltarea electricităţii statice şi la căpătarea legilor lui Coulomb şi Ampére;
- a cîmpului, care a condus la explicarea fenomenelor de propagare în optică şi în electricitate, deci la descoperirea legăturii dintre aceste două fenomene şi la descoperirea undelor electrice;
- electronică,care este indispensabilă pentru explicarea mecanismelor producerii fenomenelor electrice şi optice;
- a quantelor care arată energia necesară pentru prefacerile de energie din una în alta.

Se pare că electricitatea se comportă diferit, pe de o parte sub formă de radiaţii cu unde şi cîmp electromagnetic, iar pe de altă parte sub formă ma-

terială (electronii). In unele cazuri, aceste două comportări apar simultan, ca în cazul undelor lui De Broglie; ce întovărăşesc o particolă materială în mişcare.

Un lucru este cert: în producerea fenomenelor electrice un rol de bază îl are electronul. De aceea se studiază fenomenele electrice în funcţie de starea electronului, de unde şi clasificarea următoare :

- cînd electronul este în repaus, avem electricitatea statică;
- cînd electronul este în mişcare, avem electricitatea dinamică;
- cînd electronul este în vibraţie, se capătă radiaţiile electromagnetice.

Scanned with OKEN Scanner

ELECTRICITATEA STATICA

Pentru a putea înţelege cea mai mare parte a fenomenelor electrice trebuie să pornim de la electron , deoarece el dă fie încărcarea pozitivă, fie cea negativă a unui corp.

Se ştie că un atom este neutru din punct de vedere electric. Dacă i se adaugă unul sau mai mulţi electroni, el va manifesta o sarcină electrică negativă, iar dacă i se scot unul sau mai mulţi electroni, atomul va fi încărcat pozitiv. Pe scurt deci pentru a încărca un corp neutru, înseamnă a-i da un surplus de electroni sau a-i elimina o parte din electronii existenţi. De acesa se afirmă că nu ar fi decît un singur fel de electricitate : cea negativă, cea pozitivă nefiind altceva decît un deficit de electroni negativi. Deci semnul + sau - este în funcţie numai de numărul electronilor.

Totuşi pentru a putea înţelege mai uşor fenomenele care vor urma, spunem că există tot două feluri de electricitate : pozitivă şi negativă.

In natură sînt unele corpuri cărora li s-au zis rele conducătoare de electricitate iar altora bune conducătoare. Deosebirile dintre aceste două grupe constă :

- electricitatea produsă în primul caz rămîne la locul naşterii de unde şi numirea de rele conducătoare de electricitate, izolante sau dielectrici, iar pentru acelea din grupa a doua, electricitatea se răspîndeşte pe toată suprafaţa;
- un corp rău conducător de electricitate, electrizat pe o suprafaţă mare şi atins cu mîna într-un punct, sau pus în legătură cu pămîntul, pierde electricitatea numai din acel punct, pe cînd corpurile bune conducătoare de electricitate, o pierd de pe toată suprafaţa lor;
- izolatorii nu se pot încărca cu electricitate decît prin frecare, pe cînd ceilalţi se pot încărca prin orice mijloc.

Intre corpurile rele conducătoare de electricitate avem : sulful, parafina; sticla, răşina, cauciucul, mica, aerul uscat, etc.-

Intre corpurile bune conducătoare de electricitate avem în special metalele (mai ales argintul, cuprul, aurul), animalele, pămîntul, soluţiile acide, bazice şi saline, corpurile umede, aerul umed, etc. Deşi apa este un izolant, faptul că unele corpuri devin bune conducătoare de electricitate sub acţiunea umezelii, deci a apei, se explică prin aceea că apa antrenează cu ea în suspensie, mici particole materiale ca praful, sărurile, etc. care conduc bine electricitatea.

Izolatorii sînt corpi solizi, lichizi sau gazoşi ce nu se opun în mod absolut trecerea curentului electric, ci există prin ei un curent, numai că rezistenţa ce o opun, nu este o rezistenţă de frecare, ci una elastică.

Explicarea fenomenului de izolant ar fi următoarea : într-un corp solid, nucleii sînt aşezaţi în spaţiu într-o anumită ordine, spre deosebire de electroni care se pot comporta în mai multe feluri. De exemplu, în unele corpuri, toţi electronii sînt reţinuţi în apropierea nucleului, pe cînd în altele, electronii se pot deplasa mai mult sau mai puţin liberi în tot volumul ocupat de corpul respectiv. Cauza comportării diferite a electronilor este următoarea : distanţele dintre nucleii atomilor în primul caz, sînt egale cu dimensiunile atomilor; ca urmare avem faptul că fiecare electron este supus nu numai acţiunii cîmpului nucleului propriu ci şi cîmpului electronilor vecini. Dacă sînt relativ mici cîmpurile electronilor vecini, electronul este reţinut într-un anumit atom, iar dacă sînt mari cîmpurile electronilor vecini, atunci forţele nucleare ce acţionează asupra electronului se echilibrează şi electronul nu mai este reţinut de un anumit nucleu, el putîndu-se deplasa prin tot corpul. Avem ceea ce se cheamă electron liber.

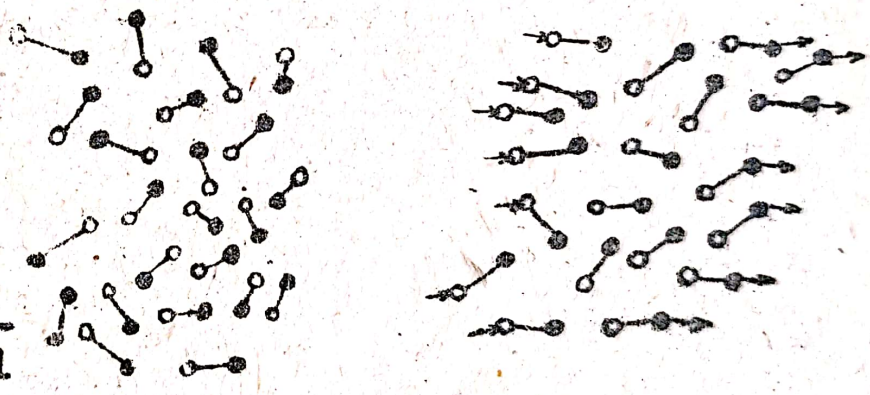
Dielectricii prezintă cîteva fenomene foarte interesante şi anume :

- apropiind de un pol al maşinei electrostatice suprafaţa unui lichid izolator, toată masa acestuia este în mişcare, înălţîndu-se chiar în dreptul polului respectiv;

- sub influenţa cîmpului electromagnetic, un dielectric se deformează şi anume, un lichid izola-

tor devine birefringent (fenomen descoperit de Kerr în 1875);

- fenomenul de influenţă se produce nu numai în conductorici şi în dielectrici, căci apropiind un electroscop încărcat de un dielectric, foiţele electroscopului se apropie puţin. Fenomenul se explică prin aceea că în dielectric se produc prin influenţă sarcini electrice şi anume de semn contrar în partea mai apropiată şi de acelaşi sens în partea mai depărtată. Sarcina de semn contrar atrage o fracţiune din sarcina electroscopului, fapt care face ca foiţele lui să-şi micşoreze divergenţa. De unde apar cele două feluri de sarcini?. Dacă în prezenţa electroscopului se rupe în două dielectricul,nu se observă la fragmentele obţinute nici o separaţie a sarcinilor de sens contrar, adică nu apare fenomenul de scindare dintre sarcinile pozitive şi negative, aşa cum se produce în cazul conductorilor. Explicaţia este foarte simplă : în fiecare moleculă de dielectric, sarcina negativă nu este separată de cea pozitivă. O astfel de moleculă, dotată cu doi poli electrici, se numeşte dipol. Dipolii sînt orientaţi la întîmplare. Dacă introducem dielectricul într-un cîmp electric, dipolii se rotesc de un unghi convenabil, aşa că partea pozitivă a moleculei să vină în sensul liniilor de forţă iar partea negativa în sens contrar. Din cauza acestei mici rotaţii, va apare la o extremitate a dielectricului o sarcină de un sens, iar la capătul opus, o sarcină de sens contrar. Cînd s-a produs această orientare a dipolilor se zice că dielectricul este polarizat, iar fenomenul poartă numele de polarizarea dielectricului. Se înţelege astfel deoce prin scindarea dielectricului nu reuşim niciodată separarea celor două feluri de sarcini Scoţînd dielectricul din influenţa cîmpului electric, orientarea dipolilor nu se mai păstrează căci predomină atunci agitaţia termică a moleculelor care dis-



pune iar dipolii haotic.

Clasificarea în conductori şi dielectrici nu este perfectă. S-a descoperit în ultimul timp un grup aparte de substanţe numite semi conductori. Acestea sînt de fapt izolatori dar care îşi modifică rezistenţa sub acţiunea unor factori exteriori (lumina, căldura şi cîmpul electric) devenind astfel slabi conductori. In acest grup care în ultimul timp a căăpătat o importanţă excesivă în tehnică intră : seleniu, germaniu, telurul, siliciul, oxidul cupros.

Legile electricităţii statice

Dintr-o serie întreagă de experienţe simple pe care nu le mai pomenim fiind prea cunoscute, se deduc următoarele legi calitative :

1.-Există două feluri de electricităţi (de fapt este un singur fel şi anume cea negativă, căci cea pozitivă nu este altceva decît un minus de electroni. Semnul + arată astfel un potenţial mai scăzut, fără a avea practic legătură cu semnul real al încărcării care poate să fie tot -).

2.-Corpurile încărcate cu acelaşi fel de electricitate se resping, iar cele încărcate diferit, se atrag.

3.-Dacă într-un punct al universului apare o electricitate de un fel, există în totdeauna un alt punct în care apare electricitatea de sens contrar. Această lege nu este altceva decît o confirmare a legii conservării materiei şi a primei legi din electricitatea statică, căci în adevăr dacă o parte din electroni se îngrămădesc într-o parte, desigur că va apare imediat o parte în care aceşti electroni sînt mai puţin, adică de unde au plecat.

Procedee de electrizare

Corpurile se pot încărca electric, adică pot prezenta fenomene de electrizare prin mai multe metode, care, după cantitatea pe care o produc şi după caracterul energiei potenţiale sau de mişcare a electronilor se împart în :

1.-Procedee statice cu cantitate mică de electricitate.

2.-Procedee dinamice cu cantitate mare de electricitate.

Ca făcînd parte din prima grupă, avem următoarele procedee:

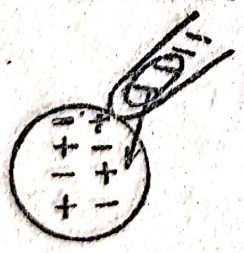
- prin frecare,
- prin contact,
- prin influenţă,
- prin tracţiunea unor cristale (piezoelectricitatea),
- prin încălzirea unor cristale (piroelectricitatea.

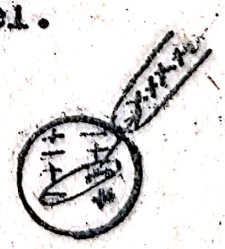
Prin frecare. Două corpuri neutre,prin frecare, se încarcă cu electricităţi de sens contrar. Explicaţia fenomenului este următoarea: energia mecanică produsă în momentul frecării smulge un număr de electroni de pe suprafaţa unui corp şi îi aduce pe celălalt. Frecarea nu face altceva de cît contribue la contactul mai intim dintre cele două corpuri.

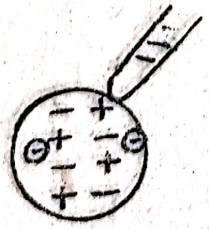
Prin contact. Punînd în contact un corp electrizat cu unul neutru, acesta din urmă se va încărca cu acelaşi fel de electricitate.

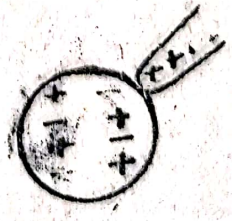
Explicaţie: Dacă corpul electrizat are electricitate pozitivă, adică un deficit de electroni, va atrage de pe corpul neutru un număr de electroni care astfel pierzînd electroni se va încărca tot pozitiv. Dacă corpul electrizat are electricitate negativă, adică un surplus de electroni, electronii în exces trec pe corpul neutru imprimîndu-i tot o electricitate negativă.

Deci prin contact amîndouă corpurile se încarcă cu electricitate de acelaşi fel.





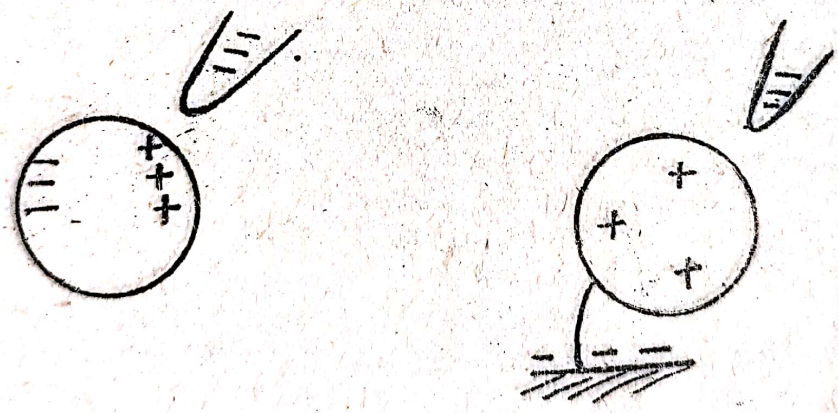




Prin influenţă. Apropiind numai de un corp neutru unul electrizat, pe primul se produce o aranjare a sarcinilor electrice şi anume, cele de sens contrar în partea mai apropiată şi cele de acelaşi sens în partea opusă.

Se remarcă faptul că în electrizarea prin influenţă nu este vorba de un transfer de electroni de pe un corp pe altul, ci numai de o simplă orientare a sarcinilor electrice deja existente pe corpuri neutre. Deci, prin influenţă, un corp se încarcă cu ambele feluri de electricitate şi numai atît timp cît este menţinut în sfera de influenţă a unui corp electrizat. Imediat ce se scoate corpul de sub această influenţă, sarcinile electrice se atrag şi corpul devine iar neutru.

Totuşi, se poate încărca un corp cu electricitate de un singur fel şi anume cu cea de sens contrar, dacă în momentul dispunerii celor două feluri de electricităţi, facem legătura lui cu pămîntul; din cauza forţei de respingere, sarcinile de acelaşi sens vor trece în pămînt şi vor rămîne numai acele de sens contrar.

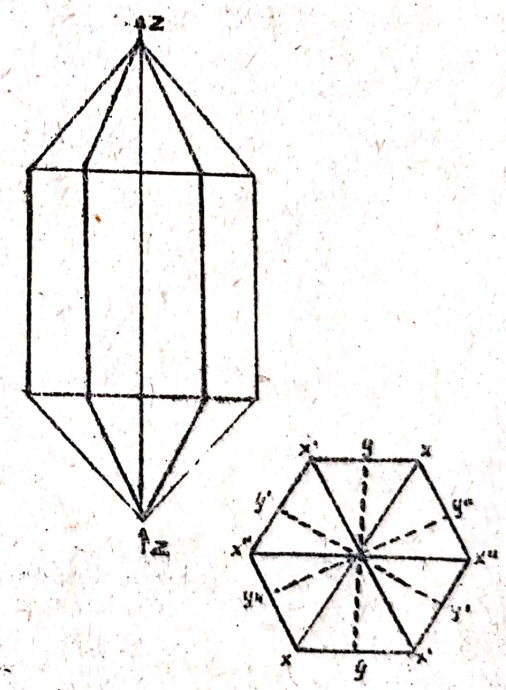


Pyezoelectricitatea. Este un fenomen ce a fost observat pentru prima dată de mineralogul Haüy (1817) şi studiat apoi de fraţii Pierre şi Jaques Curie (1880) şi constă în aceea că unii cristali anizotropi din p.d.v optic, dacă sînt supuşi la o comprimare sau întindere, capătă electricităţi de sens contrar la capetele opuse ale cristalului. Astrel de corpuri sînt: cuarţul, sarea Seignette, clorura de sodiu, blenda de zinc, acidul tartric, turmalina, zahărul, etc.

Fenomenul poate fi şi invers, adică un cristal electrizat cu electricităţi diferite la cele două capete, se întinde sau se scurtează. Bazat pe acest fenomen, P.Curie schimbînd foarte rapid (1 milion de ori) sensul curentului, cuarţul se alungeşte şi se scurtează de acelaşi număr de ori,deci vibrează, producînd astfel unde numite ultrasunete.

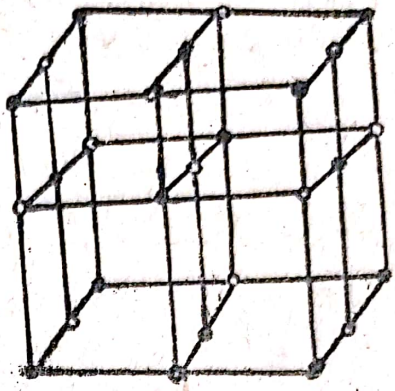
Cuarţul pyezoelectric este şi unul dintre cele mai sensibile instrumente de măsurat cantitatea de electricitate.

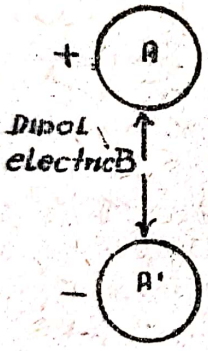
Cum se explică fenomenul pyezoelectric? Cuvîntul anizotrop înseamnă diferit după direcţii diferite căci forţele de legătură dintre atomii şi moleculele ce formează reţeaua cristalină sînt diferite pentru direcţii diferite. Astfel, multe cristale prezintă proprietatea de clivaj adică de despicare după anumite direcţii (mica). La monocristalele care fac parte din această categorie, proprietăţile : optice, termice, etc., sînt diferite după direcţii diferite. In cristalografie se foloseşte sistemul de coordonate dreptunghiulare. Sistemul constă din trei axe perpendiculare între ele, notate cu x ,y,z. Fiecărei axe îi corespunde în realitate o infinitate de linii paralele, deci de planuri, fiindcă în aceeaşi direcţie, proprietăţile cristalului sînt aceleaşi.De ex.cristalul de cuarţ are următoarele axe : axa z care trece prin vîrfurile lui este axa principală, axa x este axa electrică, iar axa y este axa mecanică. El are de fapt trei axe electrice şi trei axe mecanice. Pentru a produce efectul pyezoelectric, un astfel de cristal trebuie tăiat aşa încît feţele mari să fie perpendiculare pe axa coordonatelor x.

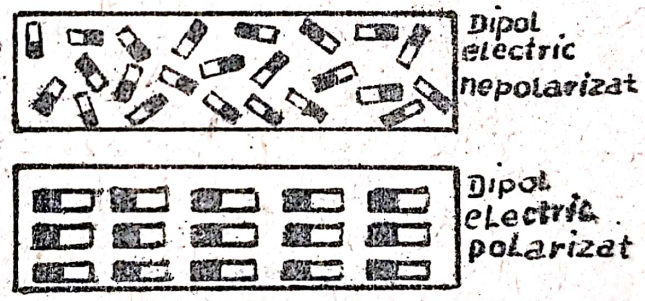


Inarmaţi cu aceste noţiuni, să vedem natura intimă a pyezoelectricităţii. Examinînd reţeaua cristalină a sării de bucătărie, se vede că este formată din ioni negativi şi pozitivi ce se succed regulat.O particulă de substa-

ţă ce conţine în ea 2 ionii de semn contrar ce se află la o distanţă oarecare unul de celălalt, se numeşte dipol electric. Un dipol electric este caracterizat prin "momentul dipolar" ce este egal cu produsul dintre valoarea A sarcinei şi distanţa B dintre sarcini. Dipolul nu există dacă momentul dipolar este nul. In corpurile amorfe, dipolii electrici sînt dispuşi dezordonat, de aceea în orice loc de pe suprafaţa unei astfel de substanţe se găseşte un număr egal de ionii negativi şi pozitivi, deci sarcini electrice opuse ce se neutralizează între ele. Dacă se freacă de ex. o bucată







de smoală sau ebonită (corpi amorfi), dipolii se rotesc în jurul axelor lor şi capătă aceiaşi direcţie. Polii de acelaşi semn ai dipolilor sînt îndreptaţi într-un singur sens şi acolo unde aceşti poli ajung la suprafaţă, apar sarcini electrice concentrate, fenomen numit polarizare electrică. Există corpuri care în starea lor obişnuită nu sînt polarizaţi, dar capătă această polarizare prin comprimare sau tracţiune mecanică. Acest fenomen nu-l au cristalele cu centru de simetrie şi conductorii care nu au ioni de cît de un singur semn.

Pyroelectricitatea. Aceleaşi substanţe prezintă proprietatea că prin încălzire capătă electricităţi de semn contrar la cele două capete opuse.

Prin răcire capătă o polaritate inversă celei de la încălzire.

Fenomenul poate fi şi invers, adică electrizînd diferit feţele opuse ale cristalului de turmalină, el se răceşte sau se încălzeşte.

Explicaţia este aceiaşi ca şi la piezoelectricitate.

Caracterele electricităţii statice.

Electricitatea statică se defineşte prin: cantitate, tensiune şi capacitate. De aceea în cele ce urmează vom trece în revistă aceste constante.

1. Cantitatea. Dacă aşezăm la o aceiaşi distanţă de un corp electrizat, diverse corpuri, se constată că între acestea se exercită forţe de atracţie sau respingere diferite în funcţie de încărcările electrice ale corpurilor respective. Deci corpurile au cantităţi diferite de electricitate şi acestea sînt proporţionale cu forţele ce se exercită între corpi.

In sistemul C.G.S. se defineşte ca unitate de cantitate de electricitate, acea cantitate de electricitate pozitivă care acţionînd asupra unei mase egale aşezată în vid la o distanţă de 1 cm. faţă de prima, o atrage sau o respinge cu o forţă egală cu o dynă.

Această unitate se notează pe scurt u.e.s C.G.S. Dar cum această unitate este prea mică pentru nevoile curente, se utilizează o altă unitate de măsură numită coulombul ce este egală cu 3.10^9 u.e.s.C.G.S.

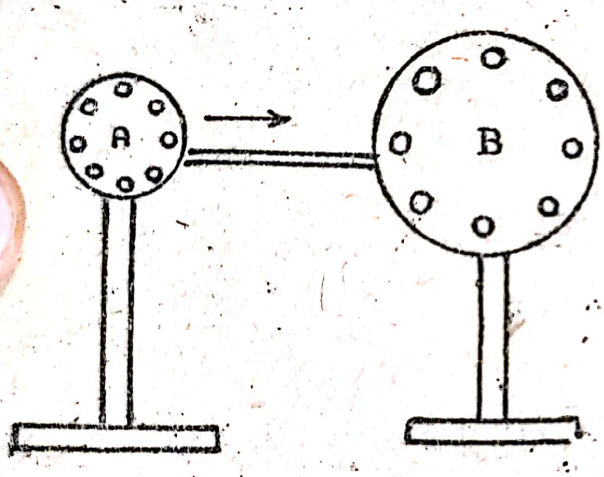
Prin definiţie am admis că forţa care se exercită între două corpuri electrizate este proporţională cu produsul cantităţilor de electricitate. După experienţele lui Coulomb, această forţa variază deasemeni în raport invers proporţional cu distanţa dintre corpurile electrizate. De unde, relaţia care exprimă legea lui Coulomb asemănătoare legii gravităţii universale a lui Newton:

$$F = K.\frac{q.q'}{\varepsilon.d^2} \text{ dine}$$

Formulă în care: F = forţa ce se exercită între cele două corpuri; q, q' = sarcinile lor electrice; d = distanţa ce le separă şi ε este o constantă ce depinde de/

natura mediului, numită constanta dielectică. Acest factor intervine cînd între sarcinile electrice nu este vid ci un corp oarecare (de ex. pentru apă - 81; alcool 26; mica 6-7; sticla 5-7; ebonit 3; petrol şi parafină 2).

2. **Potenţialul electric.** Electronii aflaţi pe suprafaţa unui conductor caută să se îndepărteze cît mai mult unul de celălalt, din cauza forţei de respingere reciprocă, tendinţă ce este cu atît mai mare, cu cît ei se găsesc mai apropiaţi unul de altul. Această stare se numeşte tensiune electrică. De exemplu luînd în consideraţie două corpuri (A şi B) încărcate cu aceeaşi cantitate de electricitate dar diferite ca mărime, corpul (A) care are de exemplu o suprafaţă mai mică, va avea la acelaşi număr de electroni, o îngrămădire mai mare a acestora, deci cu o tendinţă de a scăpa mai uşor de pe acest corp.



Dacă punem în legătură cele două corpuri cu un conductor metalic, din cauza stării de tensiune, electronii şi dintr-un corp şi din celălalt, caută să fugă, să se depărteze între ei. Cele două tendinţe sînt antagoniste, dar vor reuşi să treacă numai electronii din (A) a căror tendinţă de expulzare sau tensiune este mai mare. Pe măsură ce aceşti electroni se îngrămădesc pe (B), tensiunea creşte şi pe acest corp, încît se opune astfel venirii altor electroni. In momentul în care cele două corpuri au aceeaşi tensiune, transportul de electroni încetează.

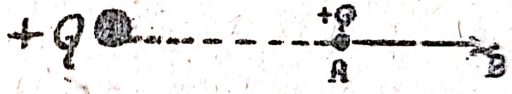
Analogia materială a tensiunii o găsim foarte uşor : fie la gaze (acelaşi număr de molecule gazoase închise în două tuburi comunicante dar de mărimi diferite), fie la lichide (acelaşi nivel de lichid în două tuburi comunicante cu diametre diferite sau în două tuburi cu acelaşi diametru, dar cu nivele de lichid deosebite).

Acestei tensiuni i s-a dat numirea de potenţial

electric, deoarece electronii în tensiune constituie un izvor de energie potenţială. Deci potenţialul electric se exprimă prin tensiunea electronilor aflaţi în surplus pe acel conductor. Potenţialul se notează cu litera V.

Din mecanică se ştie că prin ridicarea unei mase de 1 gr la înălţimea (h) de la pământ, ea va avea o energie potenţială (W_p) = g.h. Lăsată liberă va putea produce un lucru mecanic prin transformarea acestei energii potenţiale în energie cinetică. Dacă de la înălţimea (h) o ridicăm la o altă înălţime (h') mai mare, acea masă va căpăta un plus de energie potenţială, corespunzătoare diferenţei de înălţime h'-h şi anume : $W_p = g\ (h'-h)$.

Acelaşi lucru se petrece şi în cîmpul electric, căci o cantitate de electricitate care se deplasează din cauza forţelor electrostatice, formează un lucru mecanic ce este egal cu diferenţa dintre potenţialul punctului iniţial şi potenţialul punctului final de deplasare. Deci lucrul mecanic săvîrşit prin deplasarea cantităţii q de electricitate de la punctul A pînă la punctul B, este egal cu produsul dintre cantitatea de electricitate şi diferenţa de potenţial dintre cele două puncte, deci :



$$W = q\ (V_A - V_B) \qquad (1)$$

Deci pentru a avea valoarea exactă a energiei potenţiale pentru sarcina +q într-un punct al cîmpului electric va trebui să calculăm lucrul mecanic cheltuit pentru a aduce acea unitate de la infinit la acel punct şi se numeşte potenţial V. Astfel potenţialul electric dintr-un punct al unui cîmp electric este numeric egal cu lucrul mecanic făcut pentru a deplasa unitatea de sarcină pozitivă de la infinit în acel punct, ori din acel punct la infinit.

Intre două puncte (A şi B) ale unui cîmp electric va exista prin urmare o diferenţă de potenţial sau tensiune $U = V_a - V_b$.

Dacă alegem cel de al doilea punct la infinit, lucrul mecanic reprezintă numeric chiar potenţialul în primul punct.

BIBLIOTECA CENTRALĂ REGIONALĂ

Deoarece lucrul mecanic într-un cîmp electric depinde numai de diferenţa de potenţial, înseamnă că valoarea absolută a potenţialului unui punct nu are în această privinţă nici o importanţă. De aceea în calcularea potenţialelor putem să luăm ca zero potenţialul oricărui punct. In mod cu totul convenţional, deoarece pămîntul poate primi oricîte sarcini electrice, el se consideră cu un potenţial nul (în realitate are un potenţial negativ). La fel se întîmplă şi cu temperatura : diferenţa de temperatură dintre punctul de fierbere şi cel de îngheţ de exemplu, nu depinde de modul cum socotim aceste temperaturi, diferenţa rămânînd aceeaşi, fie că socotim în scara absolută, fie că le socotim în scările relative.

Cum lucrul mecanic săvîrşit pentru efectuarea unei sarcini trebuie să se facă între două puncte ale cîmpului, nu vom putea măsura niciodată potenţialul, ci numai diferenţa de potenţial dintre cele două puncte ale aceluiaşi conductor sau a doi conductori. Diferenţa de potenţial numită şi tensiune se notează cu litera U.

Unitatea de tensiune electrică se poate stabili după formula (1), aşa că :

$$V_A - V_B = \frac{W}{q}$$

Dacă se presupune W=1 erg şi q=o sarcină e.s. C.G.S., atunci formula devine :

$$V_A - V_B = \frac{1 \text{ erg}}{1 \text{ u.e. s. C.G.S. de cantitate.}}$$

Deci ca unitate electrostatică de tensiune în sistemul C.G.S. se consideră diferenţa de potenţial dintre două puncte ale cîmpului pentru care se cheltuieşte energia de 1 erg pentru a deplasa o unitate C.G.S. e.s. de cantitate de electricitate dintr-un punct în altul.

Ca unitate practică a tensiunii se ia unitatea numită volt.

$$1 \text{ v} = \frac{1 \text{ erg}}{1 \text{ coulomb}} = \frac{10^8}{3.10^9 \text{ u.e.s.}} = \frac{1}{300}$$

Dacă calculăm lucrul mecanic efectuat pentru deplasarea unei sarcini de 1 coulomb între două puncte ale cîmpului între care există tensiunea de 1 v., după formulă vom avea :

W=1 coulomb.1 volt = 3.10^9 u.e.s.C.G.S.de sarcină. $\frac{1}{300}$ u.e.s. C.G.S.de tensiune = 10^7 erg =1 j.

Deci 1 volt poate fi definit ca tensiunea pentru care deplasarea unei sarcini de 1 coulomb necesită lucrul mecanic de 1 joule.

Inainte de a trece la cea de a treia caracteristică a electricităţii statice (capacitatea), vom da cîteva noţiuni despre cîmp electric, intensitate şi densitate, factori de mare importanţă în fenomenele electrice.

Cîmpul electric este ansamblul punctelor din spaţiu ce înconjoară unul sau mai mulţi corpi încărcaţi cu electricitate şi în care se exercită forţe electrice. Ceea ce defineşte cîmpul electric este intensitatea şi potenţialul lui în orice punct. Deci cîmpul are înmagazionată o cantitate de energie. Are astfel o existenţă fizică obiectivă, fiind o manifestare a materiei, o formă de existenţă a acesteia. Intensitatea cîmpului într-un punct oarecare este o mărime ce se poate măsura prin forţa cu care acţionează cîmpul asupra unei sarcini pozitive egală cu unitatea ce este aşezată în punctul respectiv al cîmpului. Notînd cu F forţa cu care acţionează cîmpul asupra sarcinii q, atunci forţa cu care cîmpul acţionează asupra sarcinii egală cu unitatea va fi de F/q. Notînd cu E intensitatea cîmpului, vom avea : $E = F/q$. Inlocuind în această formulă valoarea lui F cu cea găsită la legea lui Coulomb, se obţine :

$$E = \frac{q}{\varepsilon . r} \quad \text{iar în vid :} \quad E = q/r^2$$

Ca şi cîmpul, intensitatea lui este o mărime vectorială.

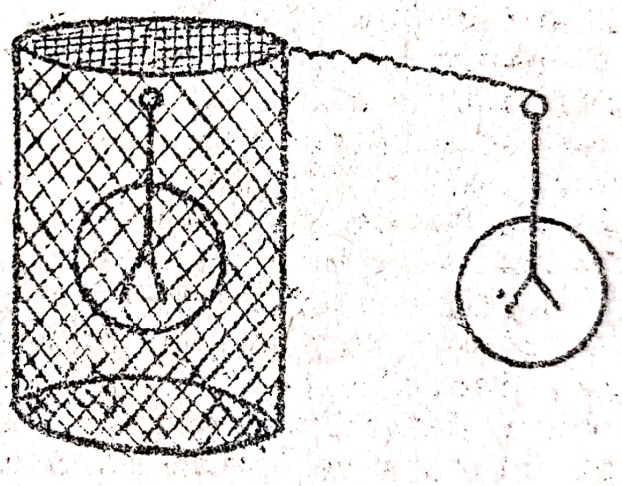
Pentru a studia cîmpul unui corp încărcat cu electricitate trebuie de aflat mărimea şi direcţia intensităţii lui în diferite puncte. Direcţia poate fi reprezentată cu ajutorul liniilor de forţă ce se pot materializa cu ajutorul cristalelor de chinină sau firelor de azbest ce se aşează într-un dielectric vîscos cum ar fi vaselina sau uleiul de ricin. Prin formarea unui cîmp electric într-un astfel de dielectric, cristalele se dispun în fiecare punct pe direcţia forţei care lucrează în acel punct.

Răspîndirea electricităţii. Este o noţiune

strîns legată de cea a cîmpului.

Răspîndirea este diferită după cum corpul este bun sau rău conducător de electricitate.

Dacă presupunem o sferă metalică plină în interior şi aşezată pe un suport izolat şi dacă presupunem că i-am adus în interiorul ei o cantitate oarecare de electroni, aceştia din cauza forţei de repulsie se depărtează cît mai mult între ei, ajungînd astfel la suprafaţa sferei. Deşi şi aci continuă să se respingă (însă cu o forţă mai mică din cauza creşterii suprafeţii), ei nu reuşesc să se depărteze mai mult căci acrul care este un mediu izolator le opreşte mişcarea de expansiune. Deci toată cantitatea de electricitate pe care o are un conductor se răspîndeşte numai la suprafaţă. Fenomenul se poate proba foarte uşor astfel : se ia un cilindru construit dintr-o reţea metalică şi se aşează pe un suport izolat de pămînt. Suprafaţa lui interioară se pune în contact cu un electroscop iar cea exterioară cu altul. Dacă se încarcă reţeaua cu o cantitate oarecare de electricitate, electroscopul din interior nu manifestă nici un fel de încărcare, în timp ce acel din exterior se încarcă, fapt demonstrat prin depărtarea foiţelor sale.



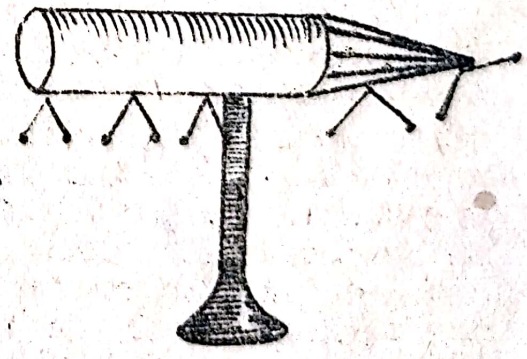
Pe acest fenomen se bazează construirea cuştii lui Faraday care este formată de obicei din cupru, şi care serveşte la izolarea eventualei produceri de electricitate din interiorul ei, de perturbaţiile electrice exterioare.

Dacă un corp bun conducător de electricitate nu are suprafaţa rotunjită, ci se termină cu un vîrf ascuţit, va pierde foarte uşor prin acest punct electricitatea. Fenomenul se explică foarte uşor astfel : presupunînd că pe un astfel de conductor am adus o cantitate oarecare de electroni, aceştia se răspîndesc pe toată suprafaţa cu tendinţa de a trece în spaţiul înconjurător. In regiunea vîrfului

ascuţit se află un număr mare de electroni îngrămădiţi pe o suprafaţă mică. Deci aci se vor respinge cu o forţă mai mare, aşa că tendinţa lor de a ieşi de pe conductor este considerabil mărită, reuşind astfel să treacă în mediul înconjurător. Trecerea este uşurată şi de moleculele gazoase, căci moleculele gazoase ce sînt în contact cu vîrful metalic, iau fiecare dintre ele cîte un electron şi-l duc mai departe, moleculele devenind astfel ioni gazoşi. Astfel vîrfurile electrizate au proprietatea de a ioniza aerul înconjurător. Ionii gazoşi fiind încărcaţi cu acelaşi fel de electricitate, sînt respinşi de vîrful metalic (aşa se explică învîrtirea moriştei electrice), producîndu-se astfel un suflu răcoros numit vînt electric.

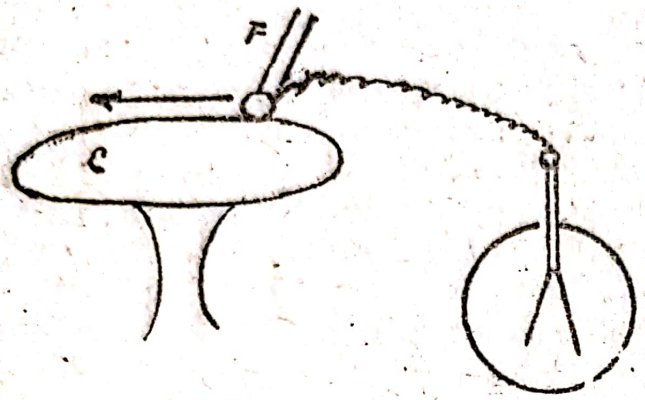
Din cele de mai sus rezultă că un conductor ce prezintă vîrfuri ascuţite nu poate păstra electricitatea, ci o cedează moleculelor gazoase cu care vine în contact. Pentru a păstra în asemenea cazuri încărcarea electrică, se fixează fiecărui vîrf cîte o sferă metalică.

Deoarece într-un corp bun conducător de electricitate, sarcinile electrice se distribuie în stare de echilibru numai la exteriorul lui, pentru a caracteriza distribuţia ei se introduce noţiunea de densitate superficială. Ea se măsoară prin cantitatea de electricitate care se află pe 1 cm^2 din suprafaţa corpului şi depinde de curbura suprafeţii. Pe o sferă care are aceeaşi curbură în toate punctele, densitatea este uniformă. Pe suprafeţe cu curburi diferite, densitatea creşte odată cu curbura, fapt de care ne putem convinge astfel : să luăm un conductor de formă cilindrică dar care la capete să se termine în formă de con. Fixînd din loc în loc pe acest corp perechi de foiţe metalice sau pendule electrice, prin încărcarea conductului cu electricitate, se observă că foiţele de pe cilindru se desfac uniform în timp ce acelea de pe suprafaţa conurilor se desfac din ce în ce mai tare pe măsură ce ne apropiem de vîrf.



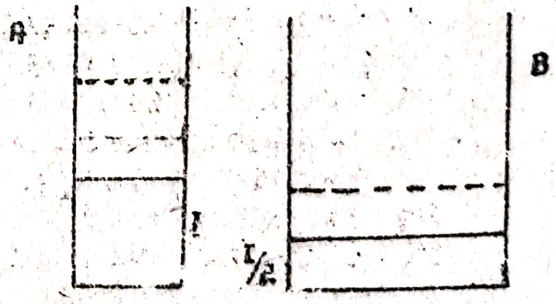
Potenţialul însă este acelaşi indiferent de

forma conductorului. Pentru aceasta conductorul se pune în legătură prin intermediul unei sîrme şi a unei sfere menţinută de un manşon izolat, cu un electroscop. In acest moment foiţele electroscopului fac corp comun cu suprafaţa conductorului şi astfel asupra lui trece o parte din electricitatea de pe conductor. Foiţele electroscopului se desfac şi potenţialul lui devine egal cu cel al corpului electrizat. Plimbînd sfera metalică de-a-lungul conductorului, se observă că în tot cursul deplasării, foiţele nu se deplasează cîtuşi de puţin.



3. Capacitatea electrică. Incărcînd cu aceeaşi cantitate de electricitate mai mulţi conductori dar de suprafeţe inegale şi măsurînd cu ajutorul unui electrometru potenţialele acestor conductori, se constată valori diferite. Dacă luăm un singur conductor pe care-l încărcăm cu o cantitate Q de electricitate, măsurîndu-i potenţialul, îl găsim V. Să dublăm cantitatea Q de electricitate de pe conductor. Potenţialul V va creşte de două ori, deci mărind cantitatea de electricitate, potenţialul electric creşte în aceeaşi măsură.

Fenomenul este analog cu acela după care capacitatea vaselor reglementează nivelele lichidelor ce le cuprind. De exemplu presupunem un vas (A) cu un diametru oarecare şi un alt vas (B) cu un diametru dublu primului. Turnînd în ambele vase aceeaşi cantitate de lichid, în vasul mai mic, înălţimea va fi de două ori mai mare. Turnînd încă o cantitate de lichid, nivelele se vor dubla, însă la fiecare diferenţa rămîne tot dublă.



Din aceste experienţe se deduce :

- nivelul lichidului (deci potenţialul electric) este proporţional cu cantitatea de apă (sau de electricitate);

- pentru aceeaşi cantitate de lichid (de electricitate) nivelul (potenţialul) este mai mic în vasul cu o capacitate mai mare.

Capacitatea depinde de forma şi dimensiunile conductorului şi nu depinde de masa (plin sau gol, el are aceeaşi capacitate) şi de natura materialului din care este făcut.

Capacitatea electrică a unui conductor se măsoară prin mărimea sarcinii care schimbă potenţialul conductorului cu o unitate.

Notînd sarcina conductorului cu Q, potenţialul lui cu V şi capacitatea electrică cu C, din cele spuse mai sus rezultă că pe fiecare unitate de potenţial va reveni o sarcină de Q/V. De unde după definiţia capacităţii electrice, obţinem :

$$C = \frac{Q}{V} \qquad Q = C.V \qquad V = \frac{Q}{C}$$

Pentru a deduce din aceste formule unitatea de capacitate electrică din sistemul u.e.s.C.G.S, vom lua pe Q din formula precedentă egal cu unitatea de sarcină e.s.C.G.S., iar pe V egal cu unitatea de potenţial e.s.C.G.S. In acest caz, unitatea de capacitate este egală cu :

$$\frac{\text{Unitatea de sarcină}}{\text{Unitatea de potenţial}} \quad \text{e.s.C.G.S.}$$

Prin urmare ca unitate e.s. pentru capacitate se ia capacitatea unui conductor pe care sarcina de o unitate electrostatică C.G.S. modifică potenţialul cu o unitate e.s.C.G.S.

Un asemenea conductor este o sferă cu raza de 1 cm deoarece pentru conductorii sferici, capacitatea este egală cu raza lor. Astfel unitatea de capacitate din sistemul C.G.S. are denumirea de "centimetru".

Deoarece această unitate este prea mică, se ia unitatea din sistemul M.K.S. numită farad. In acest caz Q = 1 coulomb şi V = 1 volt. Deci faradul reprezintă capacitatea unui conductor pe care o sarcină de 1 coulomb modifică potenţialul cu 1 volt.

Pentru a compara faradul cu unitatea de capacitate din sistemul e.s.C.G.S. , cei doi factori :coulombul şi voltul, trebuie să-i înlocuim prin unitatea e.s.C.G.S. Deci :

$$\text{faradul} = \frac{\text{coulomb}}{\text{volt}} = \frac{3.10^9}{\frac{1}{300}} = 9.10^{11} \text{ u.e.s.C.G.S.}$$

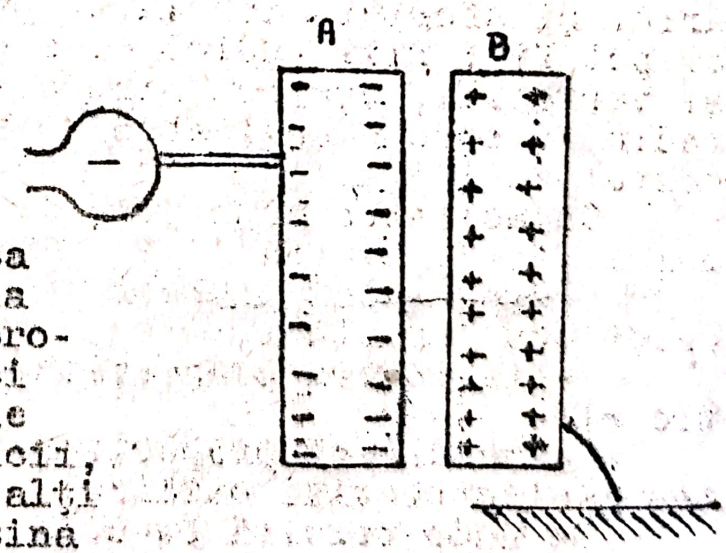
9.10^{11} cm.

Faradul este însă o unitate prea mare căci pentru ca o sferă să aibă o capacitate de 1 farad, trebuie să aibă o rază de 9 milioane km (raza pămîntului este de circa 6.000 km), deaceea în practică se ia o unitate numită microfarad (μF) mai mică de 1 milion de ori, milimicrofaradul (mμF) ce reprezintă a mia parte dintr-un microfarad şi micromicrofaradul ($\mu\mu$F) sau picofaradul (pF) ce reprezintă a milioana parte dintr-un microfarad.

Microfaradul fiind a milioana parte dintr-un farad, este egal cu 9.10^5 cm = 9 km. Pămîntul considerat ca un conductor izolat în spaţiu nu posedă decît o capacitate de 7o8 microfarazi.

Condensatori. Sînt o aplicaţie a fenomenului de capacitate, fiind aparate care servesc la înmagazionarea unei cantităţi cît mai mari de electricitate.

Principiul lor de funcţionare este următorul : să luăm o placă metalică (A) pe care o punem în contact cu unul din polii (de ex. polul negativ) unei maşini electrostatice. Placa se va încărca astfel cu electroni pînă cînd va avea acelaşi potenţial ca şi polul respectiv. Dacă în apropierea acestei plăci aducem altă placă (B), pe aceasta din urmă, vor apare prin influenţă, ambele feluri de sarcini şi anume de sens contrar în partea mai apropiată de (A) şi de acelaşi sens în partea mai depărtată. Din cauza forţei electrostatice de atracţie care este mai mare decît cea de respingere (căci sînt mai apropiate sarcinile de sens contrar), electronii liberi din placa (A) vin la periferia acestei plăci în apropiere de (B). De aci rezultă o rarefacţie a lor în restul plăcii, astfel că vor veni alţi electroni de la maşina electrostatică. Deodată se vede că potenţialul plăcii (A) creşte. Potenţialul se poate ridica şi mai mult dacă se pune placa (B) în legătură cu pămîntul. Din cauza forţei de



respingere, electronii acestei plăci se vor scurge în pămînt, deci placa rămîne momentan încărcată cu electricitate de sens contrar. Dar din cauza influenţei cauzată de (A), pe (B) vor apare din nou amîndouă feluri de sarcini. Intervenind iar forţa de atracţie, se va produce o nouă rarefiere pe placa (A), deci va veni un nou număr de electroni de la polul maşinei, în timp ce placa (B) va pierde iar o parte din sarcinile sale negative. Jocul se continuă mai departe, aşa că după un timp cele două plăci vor avea potenţiale foarte diferite. S-a creeat astfel un condensator care are doi poli (două armături) separaţi printr-un dielectric.

Un grup aparte îl formează condensatorii electrolitici ce sînt formaţi dintr-o lamă de fier şi una de aluminium introduse într-o soluţie de sulfat de amoniu. Pe lama de aluminium (polul +) se formează un strat foarte subţire (circa o,5 μ) de oxid de aluminium care joacă rol de izolator între placa de aluminium şi soluţia electrolitică.

Grosimea stratului izolator fiind foarte mică, se obţin valori foarte mari pentru capacitatea condensatorilor (circa 5-1o μF). Se folosesc la tensiuni mari, însă trebuie respectată polaritatea.

Ca formă condensatorii pot fi : plani, cilindrici şi sferici, iar în ce priveşte capacitatea ei pot fi : fixi (adică cu o capacitate constantă) şi variabili, aşa cum sînt cei de la aparatele de radiu la care capacitatea poate varia în limite destul de largi.

Capacitatea unui condensator depinde de mai mulţi factori şi anume :

- este direct proporţională cu suprafeţele celor două armături;
- este invers proporţională cu distanţa dintre ele;
- este direct proporţională cu permeabilitatea dielectricului utilizat.

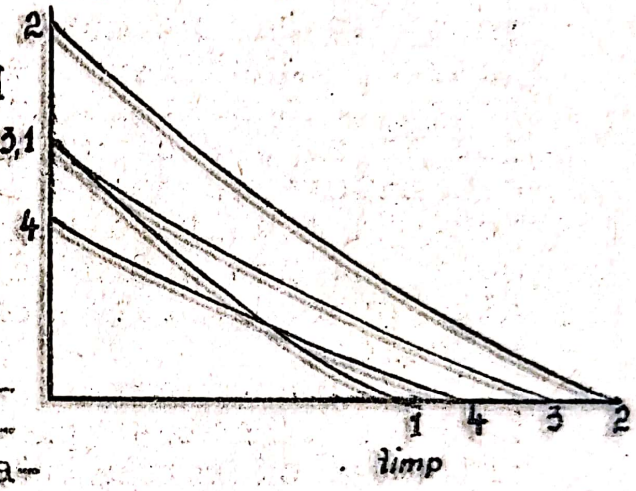
De unde rezultă formula condensatorilor plani: $C=\frac{\varepsilon \cdot s}{4\pi l}$

Incărcarea condensatorilor. Se face foarte simplu punînd în contact armătura internă cu un

pol al unei surse de curent continuu şi cealaltă armătură cu celălalt pol. Atenţie însă la tensiunea sursei pentru a nu claca (perfora) dielectricul.

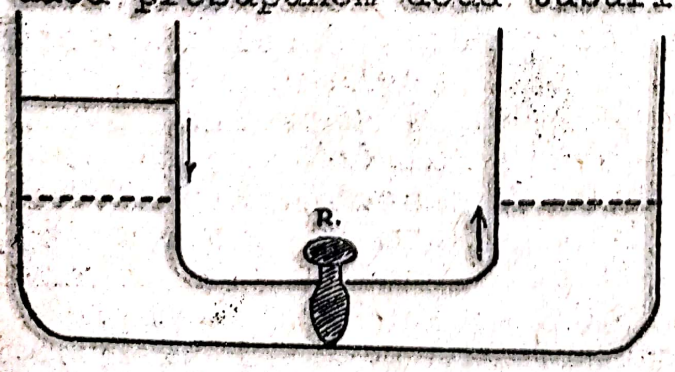
Descărcarea condensatorului se face punînd în contact cele două armături între ele. In funcţie de rezistenţa de contact, descărcarea poate îmbrăca două aspecte : continuă şi oscilantă.

Descărcarea continuă se efectuează atunci cînd între armături este o rezistenţă mare. Pentru a obţine graficul unei astfel de descărcări, ne servim ca parametri de timp pe abcisă şi de intensitate pe ordonată. Prin descărcare, intensitatea scade rapid sub forma unei curbe (1) ce este întotdeauna aceeaşi pentru un interval de timp dat. De ex. dacă în prima miime de secundă intensitatea s-a redus la 1/4, în a doua miime de secundă ea se va mai reduce cu încă 1/4 ş.a.m.d.



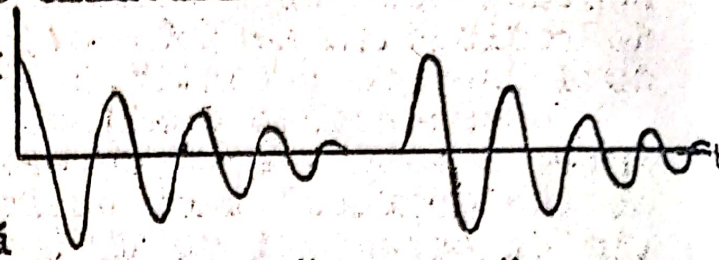
Viteza de scădere a intensităţii depinde de produsul dintre rezistenţa circuitului de descărcare şi capacitatea condensatorului. La acelaşi potenţial, dacă creştem capacitatea, lăsînd aceeaşi rezistenţă de descărcare, va diminua viteza de descărcare (3). Cu aceeaşi capacitate, crescînd rezistenţa, va diminua viteza şi intensitatea curentului de descărcare (4). La creşterea potenţialului de încărcare a condensatorului, va creşte intensitatea curentului de descărcare, dar care va descreşte cu aceeaşi viteză relativă (2).

Analogia materială este uşor de închipuit dacă presupunem două tuburi comunicante unite printr-un robinet (R). Să umplem unul din tuburi cu apă ţinînd robinetul închis. Dacă deschidem foarte puţin acest robinet, apa va curge cu o viteză mică dintr-un ram în celălalt, conform principiului vaselor comuni-



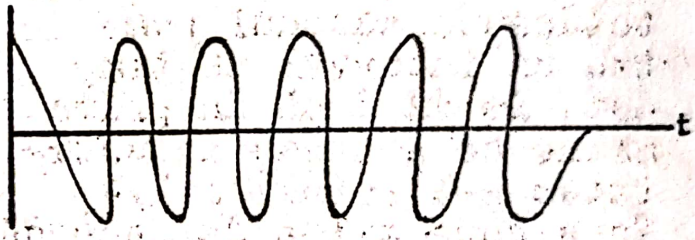
cante, pînă cînd în ambele ramuri va ajunge la acelaşi nivel.

Descărcarea oscilantă de condensatori se efectuează atunci cînd între armături este o rezistenţă mică. O astfel de descărcare spunem că este amortizată şi grafic are aspectul alăturat.



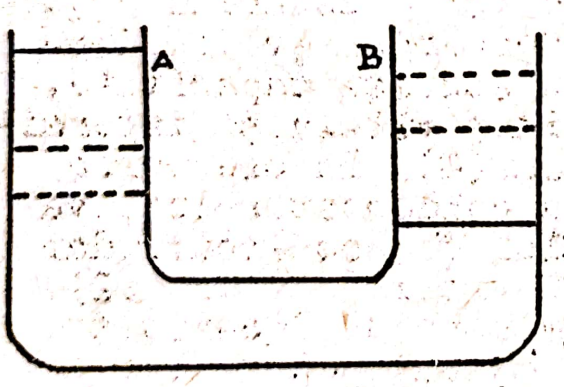
Amortizarea rezultă din cauza rezistenţii care deşi mică, există.

Dacă ne închipuim că un condensator s-ar descărca printr-un circuit fără rezistenţă, descărcarea oscilantă va fi în acest caz neamortizată, adică s-ar petrece la nesfîrşit un joc de electroni de pe o armătură pe cealaltă.



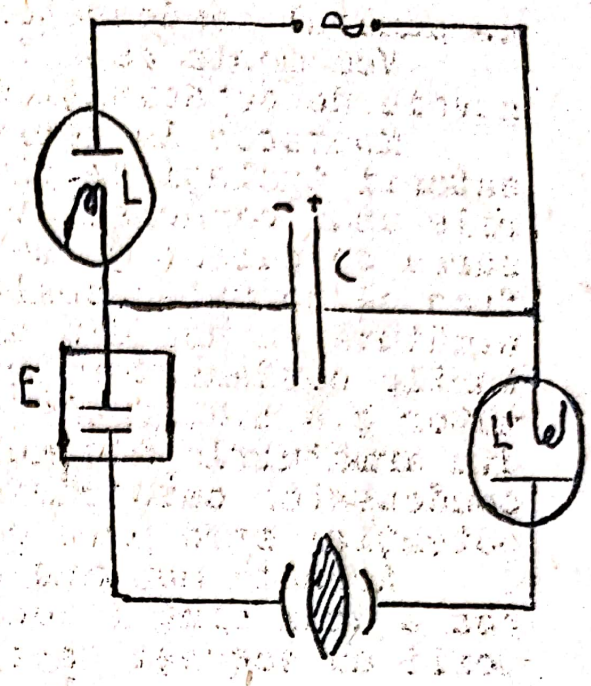
Deşi în realitate nu poate exista un astfel de circuit, se pot obţine descărcări neamortizate prin alte procedee care vor face studiul unor cercetări ulterioare.

Si descărcarea oscilantă poate fi materializată prin acelaşi procedeu, dar închipuindu-ne de astădată că robinetul este larg deschis. Apa va curge din ramul (A) în (B) cu o viteză mare şi din cauza inerţiei trece de nivelul care ar corespunde echilibrului. Din cauza principiului care tinde ca în ramuri comunicante să fie acelaşi nivel, apa se va întoarce înapoi, de astădată din ramul (B) în (A) şi a.ş.m.d.-Acest joc se execută de cîteva ori, pînă cînd din cauza frecărilor masei de apă de pereţi, jocul încetează şi apa capătă în ambele tuburi acelaşi nivel.



Descărcările de condensatori sînt larg utilizate în medicină pentru obţinerea de curenţi cu o durată scurtă şi cu o formă cunoscută. Fig.alăturată reprezintă montajul lui Delherm şi Laquerrière, în care condensatorul (C) este încărcat de curentul sectorului redresat de lampa (L). In caz de curent continui nu se va utiliza o astfel de lampă.

Descărcarea se stabileşte prin intermediul corpului uman printr-o lampă electronică (L') atunci cînd diferenţa de potenţial dintre armăturile condensatorului este egală cu distanţa explozivă a eclatorului (E). Frecvenţa undelor este reglată de încălzirea filamentelor lămpilor, iar durata descărcărilor de capacitatea condensatorului.

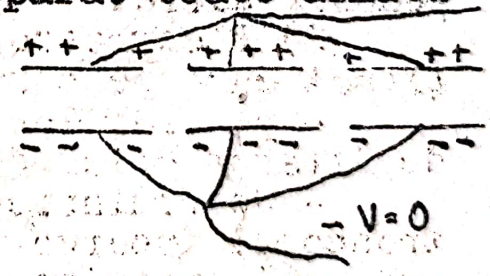


Avantajul unui astfel de aparat constă în aceea că nu comportă nici un organ mecanic şi că dă unde a căror formă este practic independentă de rezistenţa subiectului intercalat. Tot din cauza timpului extrem de scurt de descărcare, condensatorii sînt folosiţi în cercetarea excitabilităţii neuro-musculare prin metoda numită electrodiagnostic, metodă ce va fi descrisă pe larg în alt capitol.

Montarea condensatorilor.

Condensatorii se pot lega în paralel şi în serie.

Montarea în paralel se face legînd între ele toate armăturile externe şi separat toate armăturile interne, aşa că montarea se figurează astfel :



Dacă armăturile exterioare sînt legate cu pămîntul, potenţialele lor vor fi egale şi nule. De asemeni sînt egale între ele (dar nu nule)şi potenţialele (V) ale armăturilor interne.

Astfel în cazul legării în paralel, capacitatea bateriei va fi egală cu suma capacităţilor tuturor condensatorilor intercalaţi, adică :

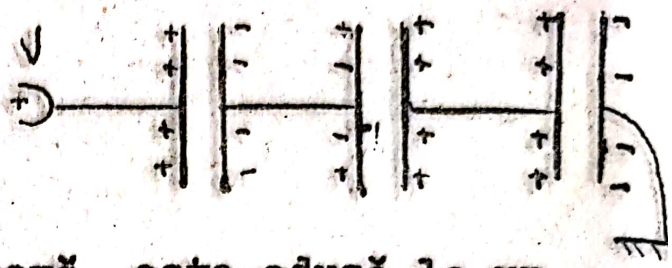
$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \ldots$$

Creşterea capacităţii în acest fel de montare se explică prin creşterea suprafeţii armăturilor

cu numărul condensatorilor.

Vom monta astfel în paralel atunci cînd avem nevoie de capacităţi mari.

Montarea în serie se face astfel : toţi condensatorii izolaţi de pămînt, se leagă una din armăturile unui condensator cu sursa de curent şi se face să comunice cealaltă armătură cu una din armăturile condensatorului următor ş.a.m.d. încît una din armăturile ultimului condensator care rămîne liberă, este adusă la un potenţial zero prin comunicaţie cu pămîntul.



Această montare este mai mică cu n ori decît cea a unui singur condensator (cînd toţi condensatorii au aceeaşi capacitate) :

$$V - V' = q \cdot \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \ldots + \frac{1}{C_n}\right)$$

Deci această montare se va utiliza cînd avem capacităţi mari şi avem nevoie de capacităţi mici. Se mai utilizează cînd sursa de curent are o tensiune prea mare care ar claca dielectricul. Prin această montare creşte grosimea dielectricului.

Aparate de măsură ale electricităţii statice.

1) Pendulul electric nu este un aparat de măsură propriu zis, ci ne serveşte la punerea în evidenţă a electricităţii. De obicei se utilizează pendule duble.

2) Electroscopul este un aparat mai perfecţionat care ne serveşte la :

- punerea în evidenţă a electricităţii (prin depărtarea celor două foiţe);
- determinarea felului electricităţii. Electroscopul încărcat cu un fel de electricitate cunoscută, îl apropiem de corpul a cărui fel de electricitate vrem s-o cunoaştem. Dacă foiţele diverg mai mult, înseamnă că ambele corpuri sînt încărcate la fel. Dacă foiţele se apropie, electrizarea este de sens contrar.
- măsurarea cantităţii de electricitate. Dacă electroscopul este prevăzut cu o scară gradată în dreptul foiţelor, după depărtarea acestora ne putem da seama destul de relativ de cantitatea de electricitate.

3) Electrometrul. Este aparatul de măsură propriu zis al electricităţii statice. Sînt diverse tipuri de electrometre, toate însă se bazează pe acelaşi principiu : măsurarea forţei de atracţie ce se exercită între două armături, căci electrometrul este un condensator veritabil a căruia una dintre armături este fixă (constituită de obicei de cuşca aparatului), în timp ce cealaltă armătură este mobilă şi se depărtează din poziţia sa de repaus cînd se aplică o tensiune oarecare între cele două armături. Deoarece deviaţiile armăturii mobile sînt în funcţie de tensiune, electrometrele se utilizează mai ales la măsurarea tensiunilor, dar pot servi şi la alte determinări care derivă din aceasta.

- Măsurarea tensiunii. Pentru a măsura tensiunea, electrometrului i se aplică tensiunea prin contact direct sau influenţă şi se citeşte prin mărimea deviaţiei echipagiului mobil. Aparatul poate măsura tensiuni foarte mici căci deplasarea se face din cauza forţelor electrostatice. Prin aparat nu trece nici un curent în timpul determinărilor.

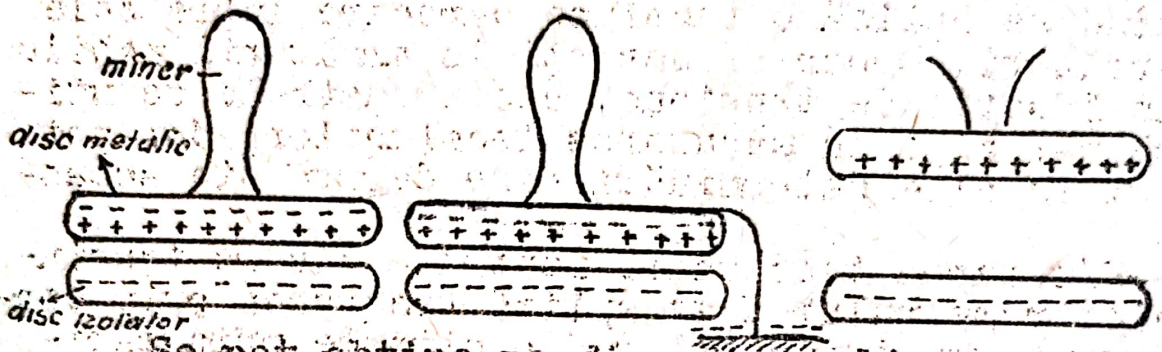
- Măsurarea sarcinii electrice. Se poate măsura ionizarea aerului produsă de o radiaţie oarecare, măsurare care se reduce la măsurarea unei sarcini sau la variaţia sarcinii electrice. Determinarea se face dacă ne reamintim relaţia : $Q = C.V$ Dacă C reprezintă capacitatea electrometrului care este etalonat, adică dacă cunoaştem valoarea tensiunii ce corespunde la o deviaţie dată a aparatului, relaţia ne dă valoarea sarcinii care se găseşte pe electrometru pentru o deviaţie dată a echipagiului său mobil.

Maşini electrostatice.

1) Cea mai simplă maşină este formată din două discuri de sticlă identice, prevăzute cu mînere tot de sticlă. Pe unul din mînere se lipeşte o bucată de piele acoperită cu zinc amalgamat. Dacă se freacă cele două cilindre între ele, ele se vor încărca diferit şi anume, cel de sticlă curată cu electricitate pozitivă, iar celălalt, negativ.

Cu acest aparat se poate încărca un corp cu multă electricitate, însă cum operaţia trebuie repetată de foarte multe ori, dispozitivul nu mai este utilizat.

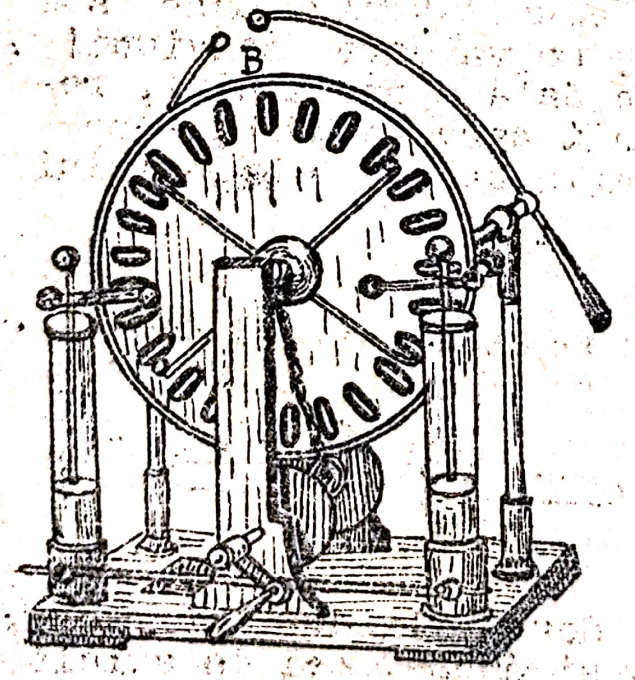
Foarte asemănător este electroforul lui Volta ce constă dintr-un disc rău conducător de electricitate peste care se aşează un alt disc metalic turtit şi gol în interior prevăzut cu un mîner izolator.



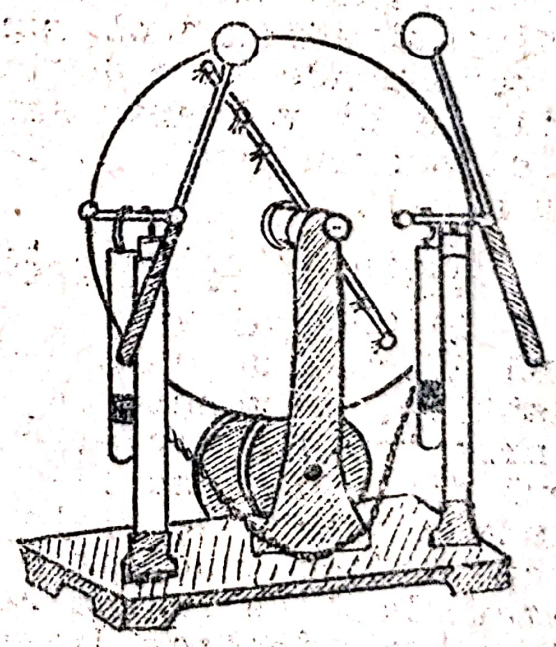
Se pot obţine pe discul metalic sarcini electrice multiple cu toate că cel izolator a fost încărcat o singură dată. Energia electrică care apare, rezultă însă din energie mecanică cheltuită.

2) Pe principiul electroforului se construiesc maşinile propriu zise la care se obţin neîntrerupt sarcini electrice. Dintre aceste maşini cele mai cunoscute sînt maşina Whimshurst şi Van de Graaf.

Maşina Whimshurst constă din una sau mai multe



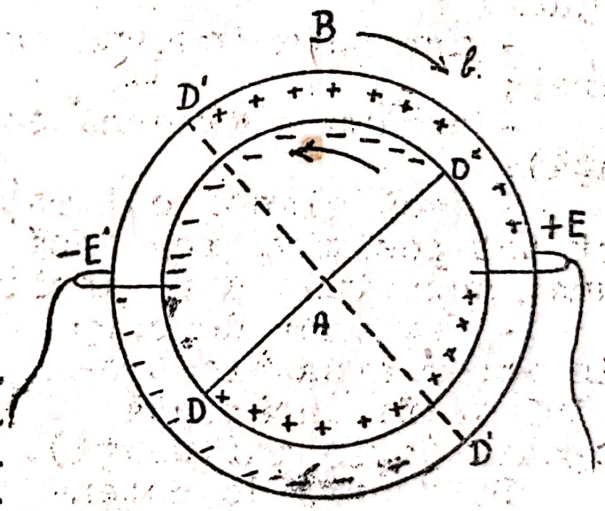
Maşina Whimshurst cu sectoare.



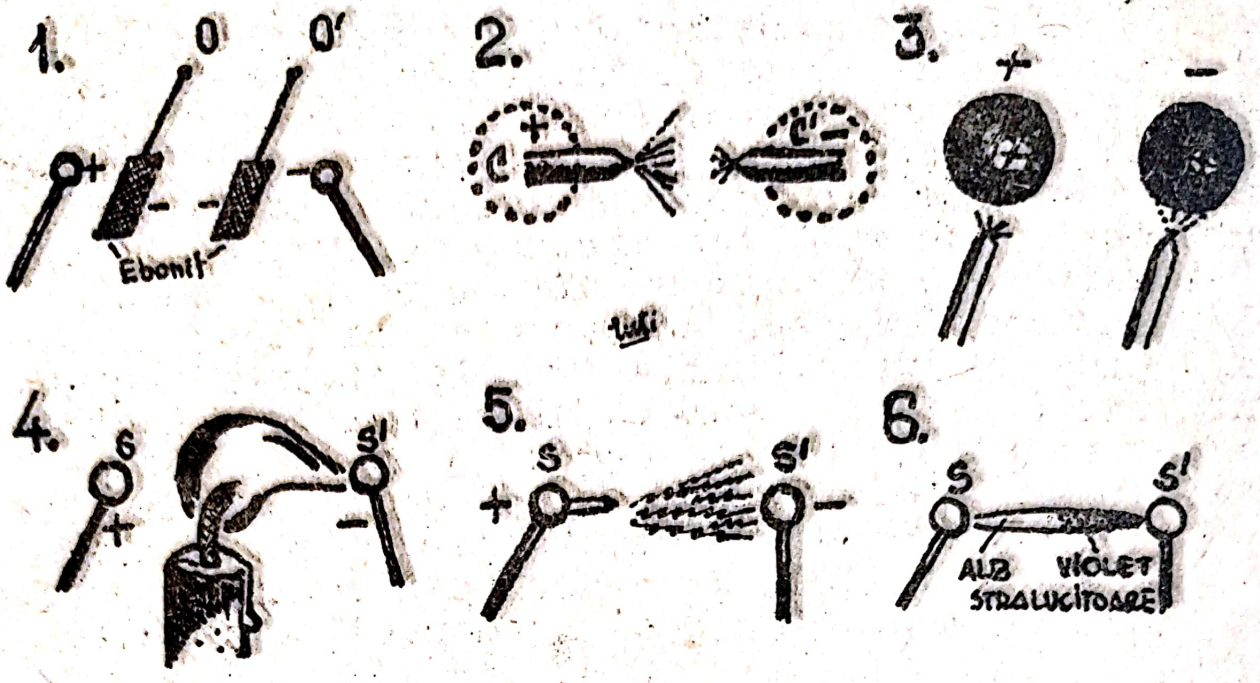
Maşina Whimshurst fără sectoare.

perechi de discuri construite din material izolant (sticlă sau ebonită) şi se învîrt cu ajutorul unei manivele, în sens invers. Spre periferia fiecărui disc sînt lipite din loc în loc făşii de staniol numite sectoare. In dreptul axei de rotaţie sînt fixate două tije metalice dispuse pendicular între ele şi terminate fiecare cu cîte o periuţă de staniol ce ating şi freacă sectoarele. In fine, la capetele diametrului orizontal ambele discuri sînt cuprinse între doi piepteni metalici numiţi colectoare. Fiecare pieptene este legat cu o tijă conductoare mobilă terminată cu o sferă de descărcare. Tijele pot fi aduse la distanţe diferite şi în diverse inclinaţii cu ajutorul a două mînere izolatoare. In acelaşi timp pieptenii mai comunică şi cu cîte un condensator fix (butelie de Leyda).

Explicaţia funcţionării unei astfel de maşini se pare că este următoarea : presupunem că în punctul b de pe platoul B este o sarcină pozitivă provenită de la o electrizare anterioară sau din frecare cu bisulfură de aur. Platoul A, aşezat în vecinătate se va încărca negativ şi trimite prin tija D-D sarcini pozitive la partea diametral opusă. El învîrtindu-se va transmite sarcinile negative colectorului E' şi cele pozitive colectorului E, dar în acelaşi timp va crea prin influenţă sarcini de sens contrar pe platoul B. Deoarece acest platou are acelaşi dispozitiv (tija D'-D'), se vor produce aceleaşi fenomene, dar cum discurile se învîrt în sens invers, ele vor duce la colectoarele respective, sarcini de acelaşi sens ca şi platoul A.

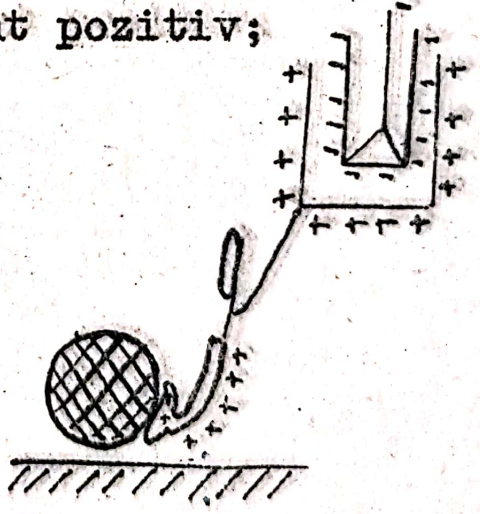


Recunoaşterea polarităţii maşinii e.s. fiind de mare importanţă mai ales în aplicaţii medicale, vom prezenta schematizat această recunoaştere prin mai multe experienţe din care se deduc foarte uşor polii respectivi :



Cînd maşina lucrează cu condensatori, polaritatea condensatorilor este următoarea, presupunînd că armătura internă a lui este în legătură cu polul negativ :

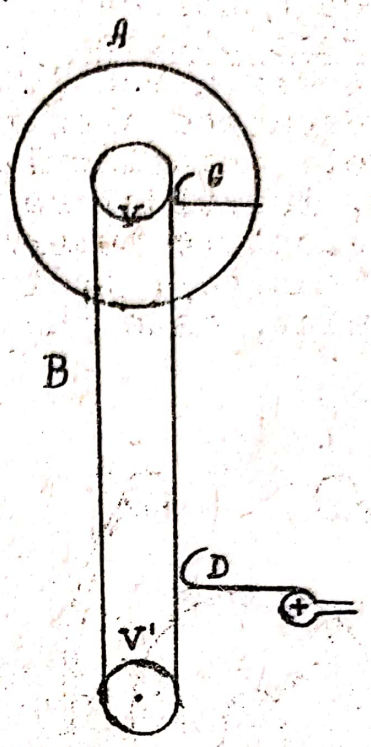
- armătura internă este negativă (prin conducere);
- armătura externă este pozitivă (prin influenţă);
- dacă electrodul este metalic, va fi încărcat tot pozitiv, iar dacă este un electrod cu vid, numai suportul va fi încărcat pozitiv;
- regiunea de corp din apropierea electrodului va fi încărcată negativ (prin influenţă).



Diferenţa de potenţial la o astfel de maşină se află după distanţa explozivă între bule pentru ca să se producă între ele o scînteie. Presupunînd bulele cu un diametru de 1 cm., vor corespunde următoarele potenţiale :

0,1	cm	distanţă	corespunde la	4,83 kv
0,5	"	"	"	16,89 kv
1,0	"	"	"	25,44 kv
5,0	"	"	"	45,90 kv
15,0	"	"	"	61,80 kv

Maşina Van de Graaf se bazează pe fenomenul că atingînd suprafaţa interioară a unui conductor gol pe dinăuntru cu un corp încărcat cu electricitate, acesta din urmă îi cedează în îngime sarcina sa.



Schema de construcţie este schiţată în fig.alăturată : circomferinţa A reprezintă o secţiune printr-o sferă metalică goală în interior,izolată de pămînt. Printr-o deschidere îngustă făcută în această sferă, iese o bandă fără sfîrşit care se roteşte pe axele V-V'.După ce banda iese din sferă se încarcă cu o tensiune pînă la 50.000 v. de la o maşină electrostatică prin intermediul unui conductor D. Celălalt conductor al maşinei este pus în legătură cu pămîntul. Intrînd în interiorul sferei, părţile încărcate cu electricitate ale benzii cedează prin conductorul G întreaga sarcină electrică.In urma acestui fapt, sarcina sferei şi potenţialul ei în raport cu pămîntul creşte fără întrerupere.

Putîndu-se obţine cu această maşină potenţiale de milioane de v., este curent folosită în experienţele atomice.

Efectele electricităţii statice

Electricitatea statică poate produce o serie întreagă de efecte şi anume :

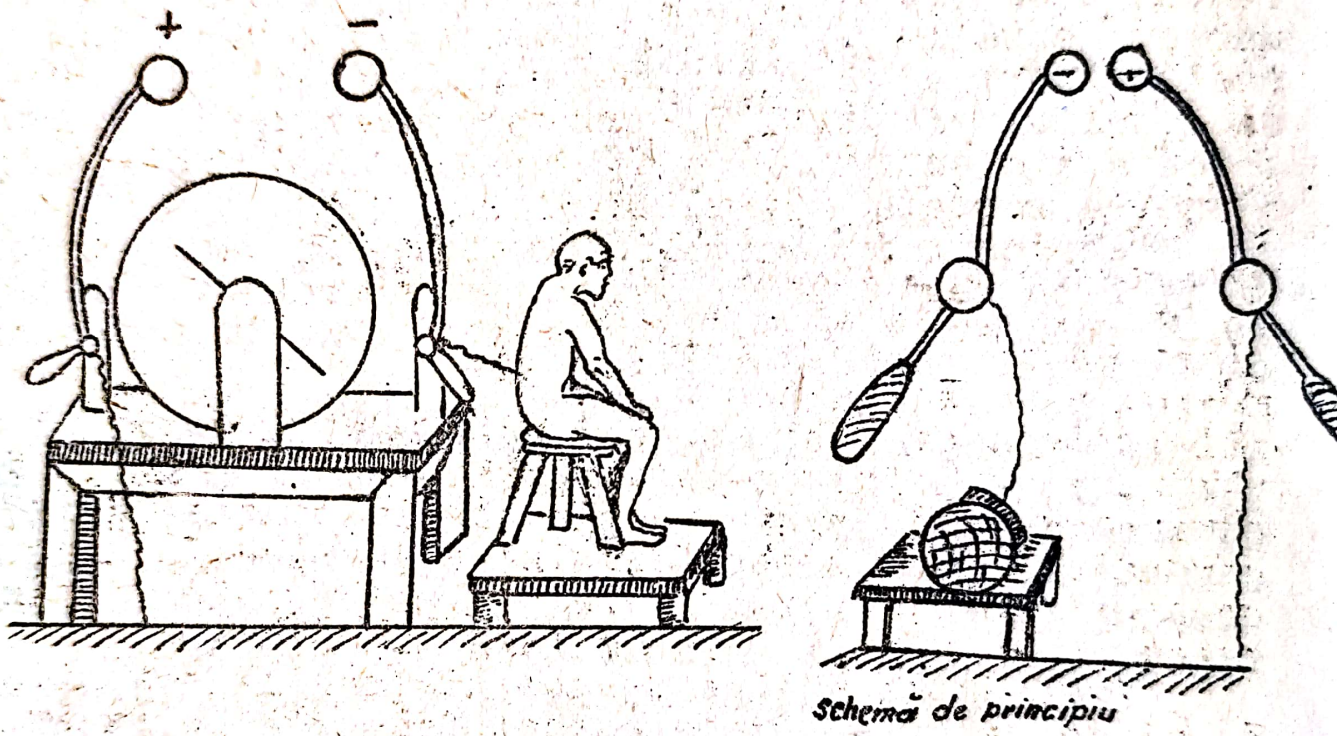
- chimice;
- mecanice (poate deplasa o morişcă, etc.);
- calorice (poate încălzi un conductor subţire pînă la topirea acestuia);
- luminoase(descărcarea produce o lumină de culoare diferită în funcţie de atmosfera în care se produce descărcarea);
- biologice. Acestea fiind cele mai importante pentru noi, vor face studiul paragrafului ce urmează.

Electricitatea statică se poate aplica în scopuri terapeutice sub diverse forme cuprinse sub numirea generică de franklinizare.

Baia statică

Această modalitate poartă numele de baie statică deoarece electricitatea scăpînd prin toate punctele organismului pentru a ieşi în mediul ambiant, individul se găseşte ca scăldat de un curent electric puternic.

Tehnică : individul aşezat pe un scaun izolat de pămînt, este pus în legătură cu unul din polii



Schemă de principiu

maşinii electrostatice (de obicei cu polul -).Corpul se încarcă astfel în permanenţă cu electricitate pe care o pierde prin aspirităţile suprafeţii (degete, nas, urechi, şi mai ales prin firele de păr), fiind supus astfel unui curent de mare tensiune dar de foarte mică intensitate. Celălalt pol al maşinii este în legătură cu pămîntul.

Şedinţa durează 10-15 minute şi se repetă zilnic sau la 2 zile.

Efecte : este în acelaşi timp un tonic general şi un sedativ al sistemului nervos. Produce o creştere a presiunii arteriale şi a frecvenţii pulsului, fenomene care duc la intensificarea proceselor circulatorii şi nutritive. Se produce şi o creştere a

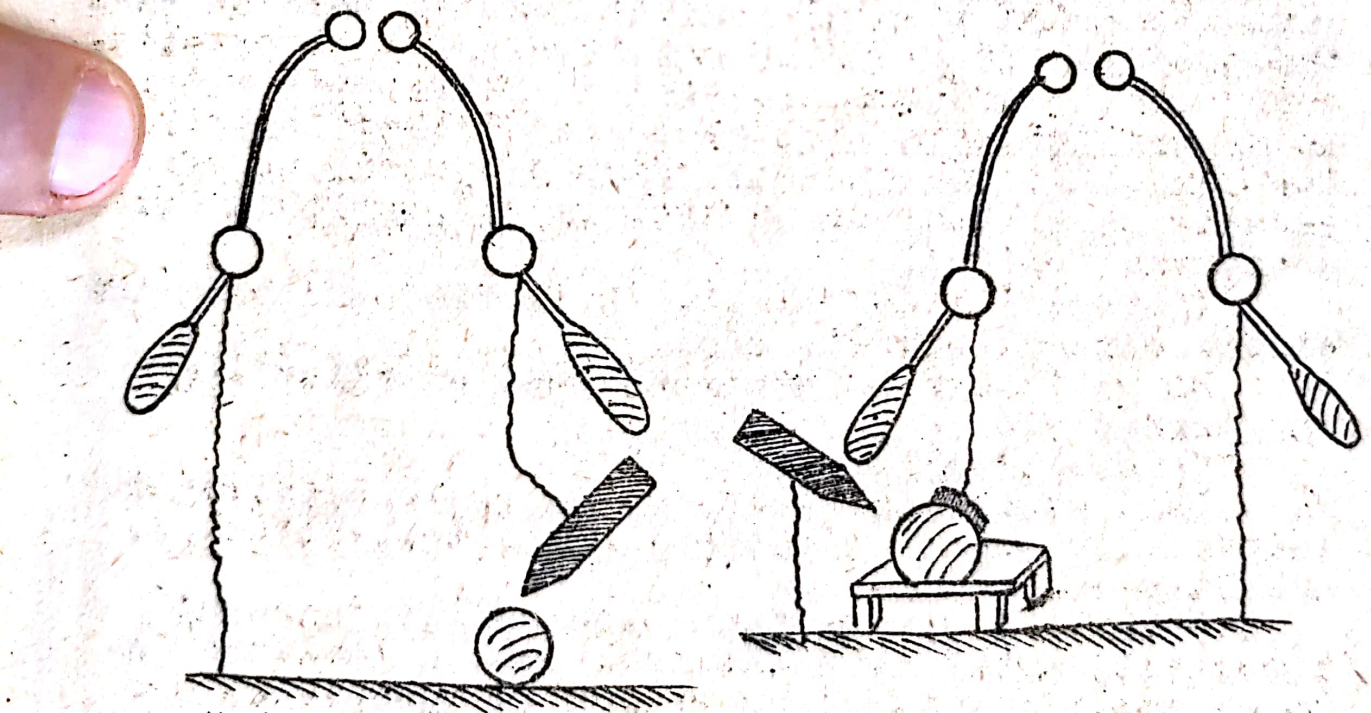
cantităţii de oxihemoglobină, de unde rezultă ameliorarea stărilor de anemii. Se constată ameliorarea stării generale, fapt care se traduce printr-o senzaţie de forţă şi de bine general, creşte apetitul şi diminuă eritismul nervos.

Indicaţii : astenii, insomnii, hipotensiune arterială.

Efluviile sau suflul electric

Sînt o aplicaţie a vîntului electric. Amintim că vîntul electric este senzaţia de curent de aer cu o prospeţime agreabilă pe care o simţim cînd curentul electric scapă prin orificii. Senzaţia este mai evidentă la polul - al maşinii şi corespunde unei scăderi a temperaturii tegumentelor. Totuşi dacă suflul prezintă o densitate prea mare, se poate căpăta o senzaţie de căldură şi după aplicaţie, o uşoară roseaţă a tegumentelor.

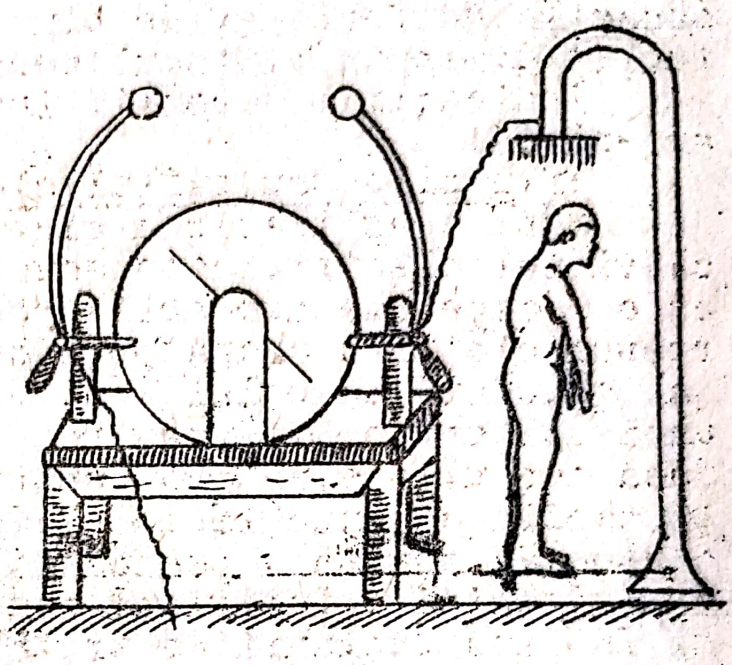
Tehnică : individul este ţinut în baia statică şi în faţa regiunii de tratat se aşează la o distanţă oarecare un electrod special pus în legătură



cu pămîntul. Aplicaţia se mai poate executa şi altfel : pacientul este în legătură directă cu pămîntul, iar electrodul este legat cu un pol al maşinii Electrodul poate avea orice formă numai trebuie să se termine cu vîrfuri ascuţite. Cînd electrodul are forma unei stropitori şi este aşezat de-asupra ca-

pului, avem o variantă a efluviilor numită duș electric.

Efecte : după Tchijevschi efluviile acționează prin doi factori și anume : prin ionizarea sau fluxul ionic ce se degajă și prin cîmpul electric constant în care se găsește așezat individul.



Școala rusă și sovietică fără a neglija cel de al doilea factor, îi atribuie primului rol preponderent, căci în momentul franklinizării ionii pătrund prin epiteliul alveolar și prin piele. Acțiunea ionilor asupra organismului este în raport cu sarcina electrică : aerul ionizat negativ este un factor profilactic și stimulant terapeutic al organismului căci produce o creștere a activității vitale, ce se explică prin creșterea stabilității coloizilor sanguini. Din această cauză el posedă un efect sedativ și calmant al durerii și al pruritului și o acțiune trofică.

Indicații : nevralgii, în tratamentul plăgilor atone, eczemă, prurit, etc.

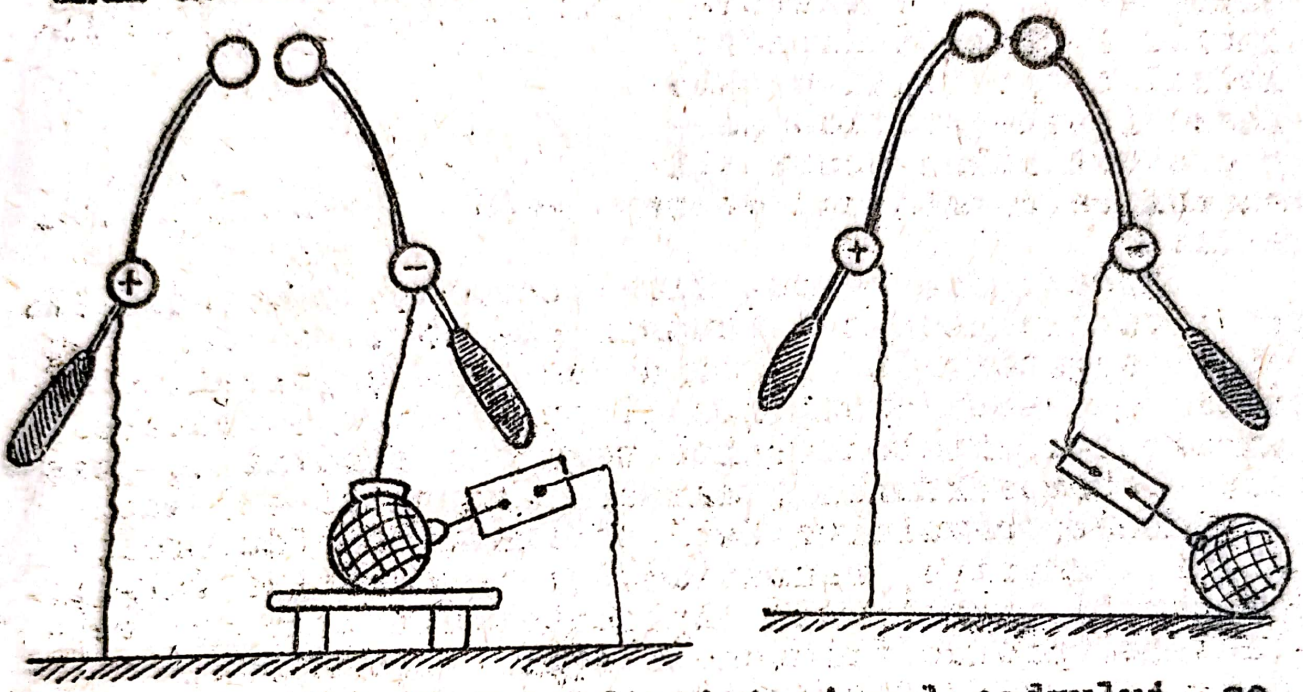
De multe ori se asociază baia cu efluviile electrice.

Scînteile electrice

Dacă se apropie mult de tegumente electrodul activ, între acesta și corpul subiectului țîșnește o scînteie.

Tehnica : se lucrează exact ca și în cazul precedent, numai că electrodul pus în legătură cu polul mașinii e.s. ce se aplică în apropierea organismului se termină de astădată cu o sferă. Avem ceea ce se numește o excitație imediată. Pentru a evita efectele scînteii asupra pielii se poate face și o excitație mediată, în care caz se utilizează un electrod special (electrodul lui Bergonié):

într-un cadru dreptunghiular de ebonită pătrund doi conductori terminaţi cu cîte o sferă metalică. Unul din ei este pus în legătură cu un pol al maşinii e.s., în timp ce celălalt conductor care se termină şi el cu o sferă, vine aplicat prin intermediul acestei sfere pe pielea individului. Apropiind



sau depărtînd sferele din interiorul cadrului, se reglează scînteia de descărcare care are loc numai aici, putîndu-se astfel doza şi chiar înălţura comoţia pacientului.

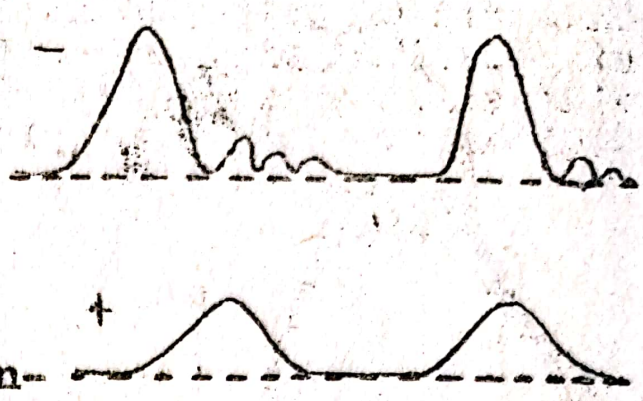
Un caz particular al scînteii electrice îl constituie frecţia electrică : individul fiind îmbrăcat, se plimbă pe suprafaţa corporală un electrod metalic în formă de sul, care joacă rol de electrod activ. Se produce astfel o ploaie de mici scîntei ce trec prin stofă şi ating suprafaţa cutanată.

Efecte : se deosebesc trei feluri de efecte şi anume :

- Efecte senzitive : scînteile mici produc o uşoară senzaţie de pişcătură superficială şi de altfel fugitivă, iar cele mari produc o senzaţie de şoc cu o căldură dureroasă. Ele pot fi folosite ca un procedeu de revulzie uşoară. Scînteile ca şi frecţiile sînt stimulenţi energici ai sensibilităţii cutanate şi înlocuiesc în unele cazuri cu avantaj, curentul faradic.

- Efecte motorii : sînt mai energice prin excitarea imediată şi mai depind de polaritate.

Astfel scînteia negativă provoacă o contracţie mai energică cu o creştere bruscă şi apariţia unui uşor tetanos.



Excitaţia mediată provoacă excitaţii căiar pe muşchii inexcitabilă la curent faradic, astfel că prezintă un procedeu foarte preţios pentru a determina contracţii musculare cu minimum de senzaţii.

Efecte excito-motorii : scînteia este folosită ca revulziv intens şi atunci cînd vrem să cerem un efect sugestiv. Locul atins de scîntei prezintă mai întîi o vaso-constricţie şi apoi o vaso-dilataţie paralitică. Pielea devine roşie şi prezintă o creştere a temperaturii (mai ales la polul +) deci are efecte revulzive faţă de fenomenele dureroase (algii, artrite, reumatism) şi reeducative (algii, anestezii, paralizii). Aplicate mult timp pe acelaşi loc produc flictene şi chiar scarificaţii. Cînd vrem să folosim scînteia ca agent excitomotor, este inutil de a provoca durere datorită şocului scîntcii şi vom folosi astfel excitaţia mediată.

Frecţiile electrice activează funcţiile glandulare (secreţia lactică). La numeroşi indivizi restabileşte somnul. In ce priveşte acţiunea circulatorie sau trofică, ele determină prin ozonul ce-l produc, apariţia mugurilor şi apoi cicatrizarea plăgilor atone.

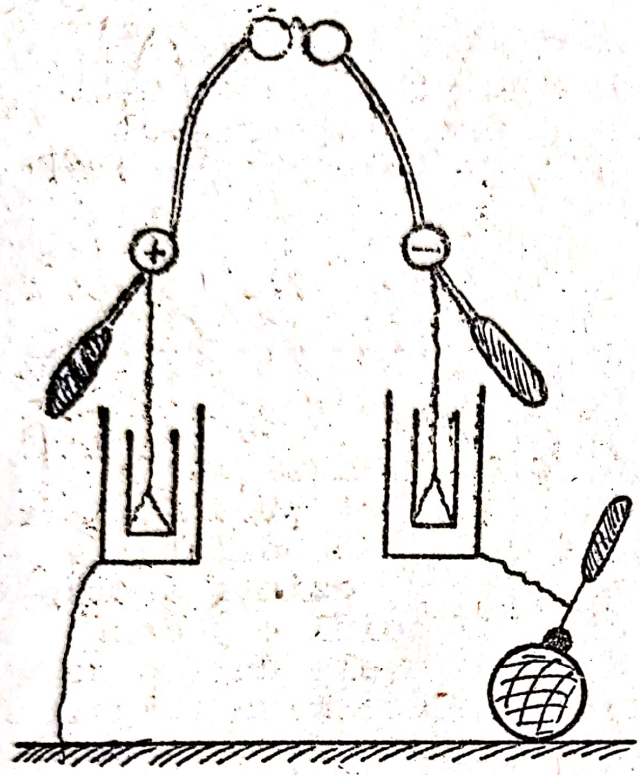
Indicaţii : atrofii musculare, atrite cronice pentru stimularea nutriţiei ţesuturilor, astenie, hipotensiune, mici intervenţii chirurgicale (se pot distruge epitolioamele mici cutanate şi negii).

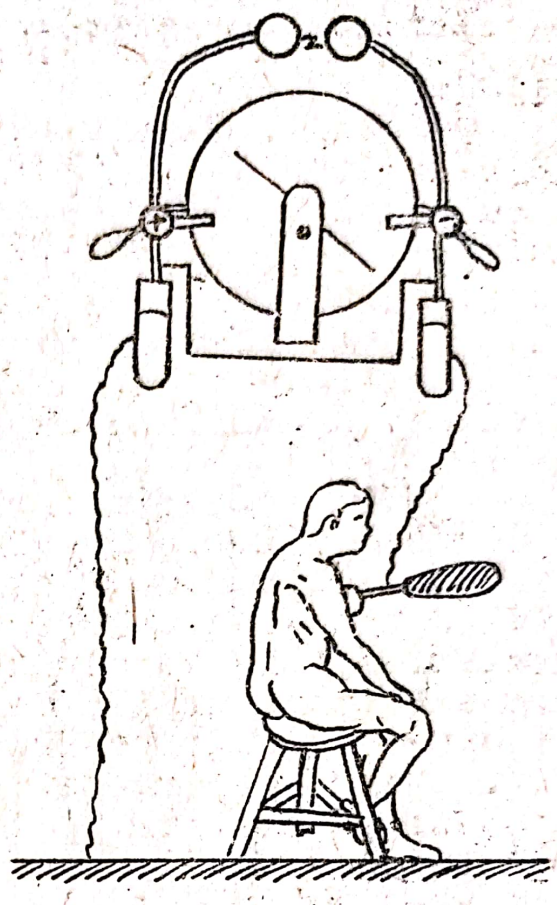
Curenţii lui Morton

Nu sînt altceva decît curenţi de înaltă frecvenţă cu unde foarte amortizate.

Tehnică : maşina e.s. lucrează de astă dată cu condensatori şi anume : armăturile interne sînt legate între ele şi cu unul din polii maşinii.

Intre ei se face să apară o scînteie printr-o apropiere adecuată a acestora. Armăturile externe alecondensatorilor sînt legate, una cu pămîntul, alta cu pacientul care stă în contact cu pămîntul.





Se obţin astfel curenţi hibrizi ce amestecă efectele înaltei frecvenţe cu acelea al scînteii mediate.

Deoarece şi aci efectele depind de polaritate, pentru a face excitatorul negativ, trebuie să-l suspendăm de armătura externă a condensatorului legat de colectorul pozitiv al maşinii.

Efecte : sînt senzitive şi motorii.

-Efecte senzitive : sînt remarcabil foarte slabe, fapt ce are mare importanţă d.p.v.practic căci se pot obţine astfel efecte motorii fără efecte senzitive dezagreabile.

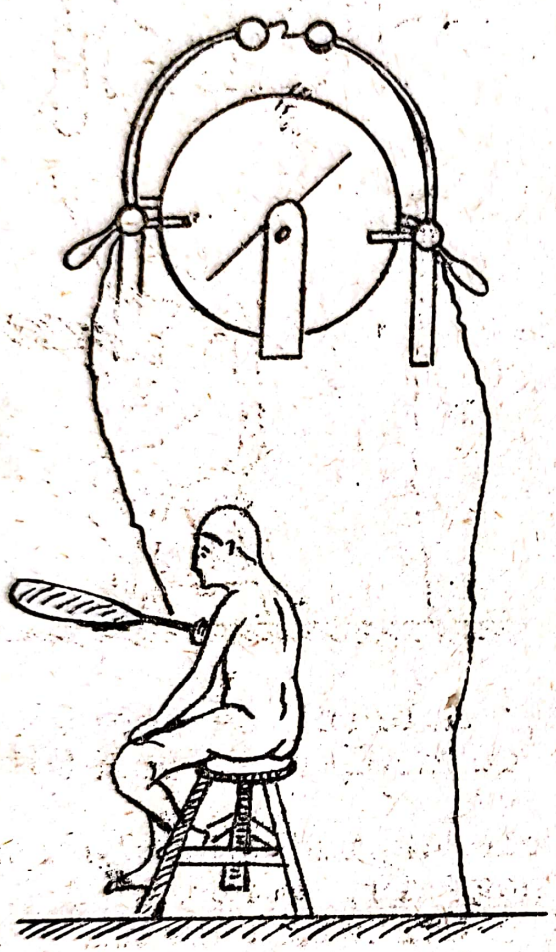
-Efecte motorii : provoacă contracţii energice atît a muşchilor striaţi cît şi a celor netezi.Se obţin astfel secuse puternice şi profunde dar nedureroase (în special la stomac şi rect).

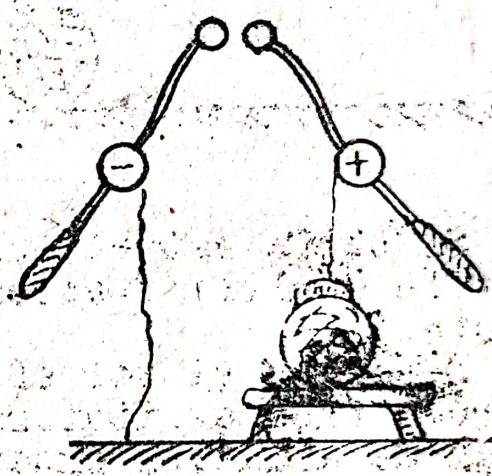
Indicaţii : faradizarea herţiană este cel mai bun procedeu de care dispune medicul electroterapeut pentru a excita prin intermediul pielii, organe profunde ca stomacul, intestinul. De aceea se aplică în cazul de atonii ale acestor organe.

Wawe curent (Morton)

Sînt o variantă simplă a precedenţilor, foarte aplicată în America.

Tehnica : maşina lucrează fără condensatori. Individul pus în legătură cu pămîntul, este legat şi cu polul pozitiv al maşinii prin intermediul unui electrod metalic sau cu vid. Polul negativ al maşinii e.s. este legat cu pămîntul. Se stabileşte întîi un scurt circuit între polii maşinii, punînd în contact cele două bule ale eclatorului. Se instalează apoi pacientul, se fixează electrodul activ şi se îndepărtează din ce în ce sferele eclatorului. In acest moment apare scînteia şi pacientul simte sub electrozi contracţii profunde dar nedureroase, cu atît mai profunde cu cît scînteia este mai lungă.





Se poate aplica Wawe curent cu excitaţii alternativ crescînde şi descrescînde, fapt care se realizează prin depărtarea şi apropierea ritmică a celor două sfere polare.

Efecte, indicaţii : sînt aceleaşi ca şi în cazul precedent.

Unele dintre efectele binefăcătoare ale electricităţii statice sînt datorite producerii de ozon. Aşa că deşi aplicaţiile de ozon nu sînt aplicaţii electrice, vom vorbi despre ele deoarece descărcările electrice şi deci scînteile se întovărăşesc de producerea unei cantităţi mari de ozon.

Ozonul se producea înainte fie cu ajutorul

efluviilor statice, fie în tuburi de sticlă în care se produceau descărcări electrice cu ajutorul bobinei Ruhmkorff. Actualmente se întrebuinţează aparate speciale ce funcţionează pe lîngă aparatele de înaltă frecvenţă.

Inhalat în cantităţi mari (o,8 mgr la litru) ozonul poate produce la animale şi la om accidente foarte grave şi chiar mortale datorită unui edem pulmonar. Se înţelege de aci dece trebuie să ne ferim de atmosferele puternic ozonizate, mai ales dacă trebuie să stăm mult timp în ele. De aci se deduce că aplicaţiile statice care sînt inofensive pentru pacient care stă pe loc doar cîteva minute, sînt foarte periculoase pentru medicul care le execută dacă nu se reînprospătează aerul dintre şedinţe. Nu trebuie să se depăşească o,1 mgr la litru maximum o,5 mgr. In fine efluviile şi mai ales scînteile sînt periculoase prin aceea că dau naştere la produşi nitroşi care sînt un iritant al căilor respiratorii.

In doze mici ozonul are următoarele acţiuni fiziologice : produce o creştere a apetitului, creşte cantitatea de oxihemoglobină şi numărul hematiilor. Creşte puterea de reducere a oxihemoglobinei în sînge. Devin mai ridicate presiunea sanguină şi frecvenţa pulsaţiilor cardiace. Creşte tara urinei în urină. Nu transformă aşa cum s-a crezut, oxihemoglobina în methemoglobina. Deci ozonul este un modificator al nutriţiei prin activarea schimburilor.

Ozonul este un antiseptic, din păcate în doze mari ce sînt periculoase căilor respiratorii.

Se pare că acţiunea binefăcătoare a ozonului este crescută dacă se asociază cu alţi agenţi fizici, cum ar fi oxigenul ozonat în proporţie de 5% în aplicaţii generale (băi) sau locale (injecţii hipodermice, spălături gazoase, dușuri uterine şi vaginale, etc.).

ELECTRICITATEA DINAMICA

Electricitatea dinamică începe cu descoperirea lui Galvani, deşi de fapt acela care produce primul o astfel de electricitate este Volta.

In timp ce Galvani credea că nervii şi muşchii broaştei sînt aceia care au electricitate şi pe care un conductor metalic (balconul) îl descarcă, Volta dă explicaţia că electricitatea este datorită contactului celor două metale (cîrligul de care erau agăţate broaştele şi balconul). Broasca ar juca doar rolul unui electroscop care pune în evidenţă acest curent. Pentru a dovedi această teorie, Volta a şi construit prima pilă alcătuită din rondele de cupru şi zinc. O altă explicaţie a fost dată de Fabroni care spunea că muşchiul se contractă datorită reacţiilor chimice ce au loc în momentul contactului dintre preparatul neuro-muscular şi metale.

Pentru a putea vorbi despre electricitatea dinamică, trebuie să ne legăm de noţiunea de curent electric, căci spre deosebire de electricitatea statică în care este vorba de un singur conductor pe care electricitatea este în repaus, în electricitatea dinamică este vorba de doi conductori electrizaţi, puşi în legătură între ei şi alimentaţi în mod continuu astfel că electricitatea se scurge de la unul la altul sub forma curentului electric. Deci pe cînd în electricitatea statică, electronii aglomeraţi într-un loc au un caracter mai mult potenţial, în cea dinamică ei sînt în plin marş de-alungul unuia sau mai mulţi conductori.

Deci curentul electric înseamnă o deplasare a electronilor dintr-o parte unde sînt mai aglomeraţi, în altă parte unde sînt mai rari. Ca să se producă un curent electric este nevoie de o diferenţă de tensiune la capetele conductorului. Dar s-a remarcat că viteza de deplasare a electronilor este cu mult mai mică decît perturbaţia care are loc în conductor, De ex. electronii parcurg în medie cîţiva mm/sec., ori curentul electric are o viteză de 300.000 km/sec. Cum se explică acest fapt?

Intr-un curent electric trebuie să distingem

două noţiuni :
- elementul care produce mişcarea (electronul);
- perturbaţia produsă de această mişcare.

O analogie a acestui fenomen o găsim în cazul sunetului : sunetul (ondulaţia aerului) se propagă cu o viteză de 340 m/sec., iar moleculele de aer ce-şi transmit una alteia această mişcare, se deplasează foarte puţin şi încet, revenind după un timp oarecare la poziţia lor de plecare. Un alt exemplu îl găsim în fiziologie : unda sanguină care se propagă în sistemul arterial cu fiecare contracţie ventriculară şi pe care o simţim sub formă de puls, nu este însăşi masa de sînge asupra căreia s-a contractat ventriculul căci elementele sanguine n-au sosit încă de ex.la radială în momentul pulsaţiei arteriale care este aproape sincronă cu sistola ventriculară.

Unităţi de măsură

Pe lîngă factorii studiaţi în electricitatea statică, de astădată mai intervin şi factori noi a căror cunoaştere este imperios necesară pentru explicarea fenomenelor electrice. De aceea începem studiul electricităţii dinamice prin arătarea unităţilor de măsură.

Mărimile mecanice se reduc la 3 mărimi fundamentale : lungimea, masa şi timpul formînd sistemul general L.M.T. După unităţile alese pentru aceste mărimi, se obţine sistemul general C.G.S. şi sistemul practic M.K.S.

Pentru a obţine unităţile de măsură electrice sau magnetice, celor trei mărimi fundamentale li se adaugă a patra de natură electrică sau magnetică. Astfel sistemul C.G.S. dă naştere la două variante:

a) Sistemul electrostatic (u.e.s.) ce are ca unităţi fundamentale cm,g,s. cărora li se adaugă constanta dielectrică pentru vid ($\varepsilon = 1$).

b) Sistemul electromagnetic (u.e.m) ce are tot cm, g,s. cărora li se adaugă permeabilitatea magnetică pentru vid ($\mu = 1$) în legea acţiunilor magnetice ($F = \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$)şi se ajunge la legea lui Biot şi Savart ($F = \frac{2I^2}{a}$)în u.e.m.

Sistemul M.K.S. completat cu unitatea de intensitate (amperul) este un sistem M.K.S.A.

1) Cantitatea

In electricitatea dinamică un coulomb se defi-

neşte prin cantitatea de electricitate care depune prin electroliză la catod, o cantitate de 1,118 mgr de argint dintr-o soluţie de azotat de argint în timp nelimitat.

Un coulomb = 3.10^9 u.e.s. sau 10^{-1} u.e.m.

2) Intensitatea

Este o mărime care se explică ceva mai greu şi se exprimă numeric prin cantitatea de electricitate care se deplasează printr-un conductor în unitatea de timp, deci ea reprezintă cantitatea raportată la timp. Se măsoară practic cu amperul.

Un amper se defineşte prin : intensitatea unui curent care transportă un coulomb pe secundă.

Ca să arătăm cît reprezintă un amper, pentru a se produce un curent de un amper, trebuie să treacă printr-un conductor în fiecare secundă $6,3.10^{18}$ electroni.

Caracterul important al intemsităţii este acela că este întotdeauna aceeaşi în tot lungul unui conductor, lucru pe care-l putem înţelege astfel : un circuit electric poate fi alcătuit din conductori cu secţiuni diferite, dar montînd mai multe ampermetre în diferite porţiuni ale circuitului, ele ne vor indica aceeaşi valoare. Rezultatul este uşor de prevăzut căci dacă în timpul cît circulă curentul, ar ieşi dintr-o porţiune mai groasă o cantitate mai mare de electricitate decît cea care intră în acel moment în porţiunea mai subţire, s-ar produce o acumulare continuă de electricitate, fenomen ce nu se constată cătuşi de puţin în circuit. Tot aşa se petrec lucrurile şi cu un curent constant de gaz sau de apă : ori cum ar varia secţiunea conductelor care servesc la transportul gazului sau a apei, în unitatea de timp trece prin oricare secţiune a conductorului, aceeaşi cantitate de gaz sau lichid.

3) Forţa electromotrice

Este o mărime asemănătoare cu diferenţa de potenţial. Deocamdată trebuie să spunem că este energia necesară pentru a separa electricităţile de sens contrar, adică de a produce şi menţine constantă diferenţa de potenţial dintre electrozii unei surse de curent. Forţa electromotrice este aceea care împinge electronii într-un circuit învingînd rezistenţele ce se opun trecerii curentului electric.

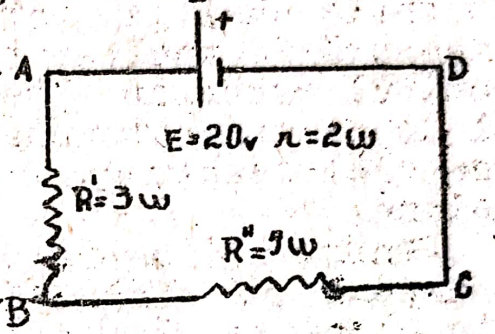
Ţinînd seama de relaţia : W = Q. U, deducem că

forţa electromotrice (E) este reprezentată numeric prin lucru mecanic cheltuit de generator pentru a transporta prin circuit de la un capăt la altul, un coulomb. Dar cum Q = 1 coulomb, din formula : E = W/Q, rezultă că E = W

F.e.m. se măsoară tot în volţi ca şi tensiunea.

4) Diferenţa de potenţial

De cele mai multe ori un circuit este format din mai multe rezistenţe, aşa cum ni se arată în fig.alăturată. Înseamnă că F.e.m. trebuie să împingă electronii atît pe R' cît şi pe R" şi chiar prin rezistenţa interioară (r) a generatorului. Din numărul de volţi ai sursei, o parte se pierde în R', o parte în R" şi o parte în r.



Atrăgînd atenţia că nu se poate pierde din curent, deoarece electronii nu pot să iasă din circuit şi atîţia cîţi au plecat de la borna pozitivă trebuie să ajungă la cea negativă, se consumă doar f.e.m. învingînd toate rezistenţele din circuit. Să aplicăm legea lui Ohm :

$$I = \frac{E}{R' + R'' + r} = \frac{20}{3 + 5 + 2} = \frac{20}{10} = 2 \text{ amp.}$$

A fost nevoie de o F.e.m. de 20 v.care să împingă într-o rezistenţă totală de 10 ohmi, un curent cu o intensitate de 2 amperi.

Pentru rezistenţa R' este nevoie de 6 v., întrucît 2 amp.= 6 v/3ω ; pentru rezistenţa R" este nevoie de 10 v., întrucît 2 amp.= 10 v/5ω ; pentru rezistenţa r este nevoie de 4 v, deoarece 2 amp = 4 v/2ω .

Din f.e.m.de 20 v,s-au pierdut : în R' =6 v. în R" = 10 v şi în r = 4 v deci total 20 v.

Din cele de mai sus rezultă că atunci cînd un curent electric străbate o rezistenţă, vom găsi la bornele ei un număr de volţi (o parte din f.e.m.). Spunem că la bornele rezistenţii a apărut o tensiune electrică ce se notează cu litera U spre deosebire de f.e.m.care se notează cu E.

Cu toate că E şi U sînt mărimi de aceeaşi natură, între ele există următoarele deosebiri :

- f.e.m. se măsoară numai la bornele sursei

de curent pe care nu-l debitează, în timp ce tensiunea este partea din f.e.m. ce se pierde de-alungul unui conductor;

- f.e.m.este ceva constant ce caracterizează sursa de curent, iar tensiunea variază neîncetat de-alungul unui conductor;

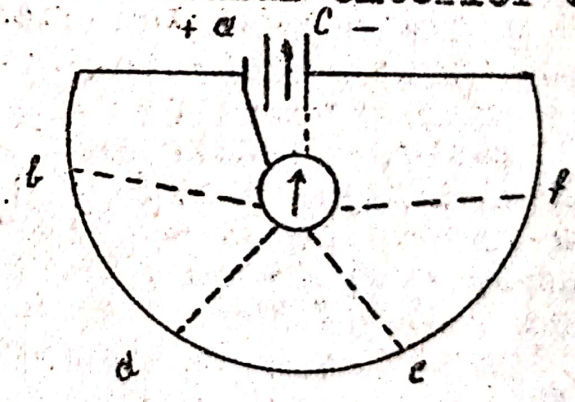
- f.e.m. este mai mare decît tensiunea.Pot fi cel mult egale numai în cazul cînd sursa nu debitează curent.

Deci cînd se măsoară diferenţa de potenţial la bornele unui generator care nu debitează curent, se măsoară în acelaşi timp şi f.e.m.a sa, iar cînd circuitul exterior este închis, diferenţa de potenţial de pe circuit numai este aceeaşi cu cea de la borne căci de-alungul circuitului sînt căderile de tensiune.

Pentru a ilustra aceste fapte, facem următoarea experienţă : să luăm o baterie formată din mai multe elemente legate în serie. Măsurăm cu un voltmetru diferenţa de potenţial dintre polii ei.In mod obişnuit diferenţa de potenţial ($V_a - V_b$) este numeric egală cu f.e.m.a bateriei:

$$E = V_a - V_b$$

Legăm polii bateriei cu un fir lung şi subţire neizolat. Fixăm voltmetrul de anodul (a), iar celălalt capăt al voltmetrului stabileşte contactele în punctele b,d,e,f ale circuitului exterior care sînt din ce în ce mai depărtate de anodul a. Uitîndu-ne la voltmetru se constată că diferenţa de potenţial arătată de el creşte neîncetat, adică în tot lungul circuitului se produce o cădere de potenţial. Se mai observă că cea mai mare diferenţă de potenţial (e') este atunci cînd unim voltmetrul cu catodul (c). Comparînd valoarea lui E găsită anterior cu valoarea lui e', se constată că $E > e'$. Există deci o cădere de potenţial chiar în interiorul elementelor ce formează bateria. Scăzînd pe e' din E, găsim valoarea acestei căderi de potenţial (e"), adică : $E - e' = e''$ de unde $E = e' + e''$ (1)



adică, f.e.m.este egală cu suma căderilor de poten-

ţial din circuitul exterior şi interior.

Notînd cu i intensitatea curentului în circuitul dat, cu R rezistenţa circuitului exterior şi cu r rezistenţa celui interior, aplicînd legea lui Ohm, vom găsi pentru circuitul exterior: $e'=i.R$ iar pentru cel interior : $e''=i.r$. Adunînd aceste două egalităţi obţinem : $e'+e'' = i.R+i.r$ Inlocuind valoarea lui $e'+e''$ cu E (găsită în formula 1), obţinem : $E=i.r'+i.r''$ de unde :

$$i = \frac{E}{r'+r''} \quad \text{sau} \quad i = \frac{E}{R+r}$$

Dacă introducem formula de mai sus în legea lui Ohm : $V_a-V_b = R.i$, obţinem :

$$E = V_a-V_b + r.i = U+r.i$$

Se vede deci că f.e.m.a unui generator electric este mai mare decît diferenţa de potenţial de la bornele lui. Numai în cazul cînd i=o (deci cînd nu circulă curent) sau r = o, avem $E=V_a-V_b$

5) Energia

Am văzut că deplasarea unităţii de cantitate de electricitate (Q) dintr-un punct cu un potenţial V_a în altul cu potenţialul V_b, se produce cu o cheltuială de energie $W=Q\ (V_a-V_b)$. Notînd această diferenţă de potenţial cu U iar energia curentului electric cu W, atunci pentru orice porţiune, energia se poate exprima prin formula W = Q.U iar pentru întreg circuitul W =Q.E

De unde înlocuind valorile respective rezultă:

1 joule = 1 coulomb.1 volt

Deci un joule reprezintă lucrul mecanic efectuat de un coulomb cînd coboară la o diferenţă de potenţial de 1 volt.

1 j =1/9,87 = o,1o2 kgm.

Insă se ştie că Q = i.t, de unde înlocuind în formula de mai sus, vom obţine pentru o porţiune din circuit W = i.t.U şi pentru întreg circuitul $W=i.t.E=r.i^2 . t$

Energia se exprimă şi în waţi secundă Un watt secundă=1 joule=1 volt.1 amper.

In practică se foloseşte kilowatt ora. Un kwh= $1o^3 . 3600 = 3,6.1o^6$ watt secundă.

Deci un joule se poate defini şi astfel :energia unui curent ce are o putere de 1 watt în timp de o secundă.

6) Puterea

Reprezintă energia pe secundă, adică: P = W/t
cum W=i.U.t, obţinem:

$$P=\frac{i.U.t}{t}= i.U.$$

Unitatea practică de măsură este watul.
1 wat= 1 joule/secundă deci 1/9,81 kgm/sec;
1 wat= 1 coulomb/sec. 1 v.= 1A.1v = $i^2.R$

Ca multiplii avem hectowatul şi kilowatul(1000w

In cazul curentului alternativ puterea nu mai corespunde exact produsului dintre intensitate şi tensiune. De ex: pentru un curent de 220 v şi 12 Amp, ar trebui să căpătăm 2640 w, ori prin citire găsim 2112 v. Aşa dar există o nepotrivire între indicaţiile watmetrului pe de o parte şi a voltmetrului şi ampermetrului pe de altă parte. Adevărata valoare ne este dată de watmetru (putinţa reală), iar valoarea celorlalte 2 aparate ne dă putinţa aparentă. La această diferenţă intervine un factor numit factor de putinţă.

Factorul de putinţă (φ)= $\frac{\text{putinţa reală}}{\text{putinţa aparentă}}$ = 0,8

Acest factor care se datoreşte fenomenului de self-inducţie ce apare în cazul curnetului variabil, este întotdeauna mai mic de cît unitatea.

Toate mărimile studiate pînă acuma ţin de curentul electric, iar cele care vor urma depind de conductorul în care circulă curentul electric:

7) Rezistenţa

Reprezintă obstacolul pe care-l prezintă un conductor atunci cînd este străbătut de un curent electri
Unitatea de măsură a rezistenţei este ohmul(ω)

Un ohm reprezintă rezistenţa pe care o opune trecerii curentului electric o coloană de mercur înaltă de 106,3 cm, cu secţiunea de 1 mm şi în greutate de 14,452 gr la temperatura de 0°C.

8) Conductibilitatea electrică.

Este inversul rezistenţei, ea reprezentînd deci uşurinţa cu care circulă un curent electric printr-un conductor. (Reprezintă deci 1/R).

Unitatea de măsură este după unii, mho (cuvîntul ohm scris invers), după alţii, siemens.

Un mho = 1 siemens = 1/R = 1/1 = 1

9) Inductanţa.

Prin inducţie se înţelege efectul pe care-l produce un circuit prin care trece un curent electric variabil, asupra unui conductor izolat.

Unitatea practică de măsură este Henry.

1 Henry reprezintă inductanţa unui conductor care fiind străbătut de un curent cu o intensitate de 1 amp., înmagazinează sub formă de flux magnetic, o cantitate de electricitate de jumătate joule;

sau: inductanţa care produce în circuitul al doilea un curent cu o f.e.m. de 1 volt, cînd curentul variază în primul circuit cu o intensitate de 1 amper pe secundă.

10) Densitatea electrică.

Deşi nu este de fapt o mărime electrică, trebue însă arătată deoarece este de mare importanţă în electroterapie.

Prin densitate electrică se înţelege raportul dintre intensitatea curentului şi secţiunea conductorului pe care-l traversează. Deci D = i/S.

Cum în electroterapie secţiunea conductorului considerat este reprezentată de suprafaţa electrozilor în contact cu pielea, se spune că densitatea electrică reprezintă numărul de amperi ce trece printr-un cmp. de electrod. Aşa că se măsoară în amperi pe mmp.

Practic în electrofiziologie se lucrează cu o,3o-o,5o mA pe cmp, pînă la maximum o,75 mA pe cmp.

De densitatea curentului de sub electrozi depind fenomenele motorii şi chimice (electrolitice) ale organismului, fie că este vorba de un curent continu, sau de unul variabil.

Inainte de a termina cu studiul mărimilor electrice, trebuie să adăogăm că prin faptul că f.e.m. şi tensiunea electrică sunt mărimi asemănătoare, actualmente aceste două mărimi sînt înglobate împreună sub numele de tensiune electromotoare. Noi însă le-am cercetat separat pentru a putea explica ce înseamnă şi cum s-a ajuns la ele.

LEGILE CURENTULUI ELECTRIC.

Legea lui Ohm.

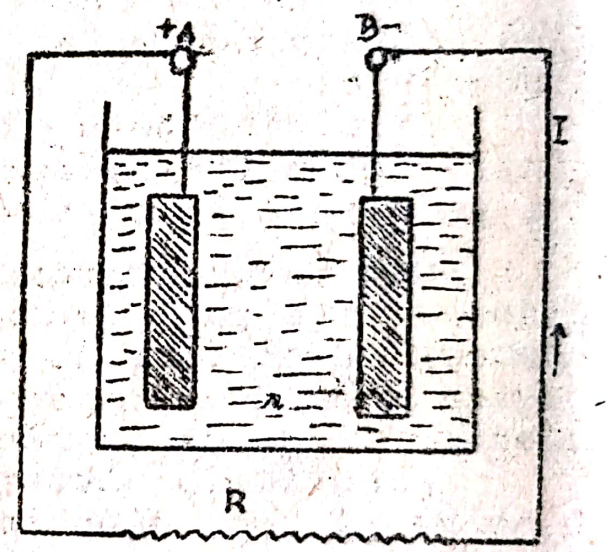
Georg Simon Ohm la 1826 a descoperit legea de bază a curentului electric care se prezintă astfel:

a. Pentru o porţiune din circuit: $U = I.R$

b. Pentru circuitul întreg: $E = I.(R+r)$

Din aceste formule rezultă şi valorile intensităţii şi a rezistenţei.

Fie un generator cu o forţă electromotrice (E) şi cu rezistenţa interioară (r). Unim cele două borne A şi B printr-o rezistenţă exterioară (R). Prin circuit (exterior şi interior) va trece un curent cu intensitatea (I) în sensul tehnic de la A spre B la exterior. Rezistenţa R va avea la capete o diferenţă de potenţial:



$$U = Va - Vb = I.R.$$

Dar şi în interiorul generatorului se poate aplica legea lui Ohm şi se obţine căderea de tensiune:

$$e = r.I.$$

Cum f.e.m. este cauza totală care pune electricitatea în mişcare, vom avea: $E = U + e$. Deci: $U = E - e$ adică la bornele unui generator se obţine o diferenţă de potenţial (U) mai mică de cît f.e.m. (E) a generatorului din cauza căderii de tensiune din interiorul generatorului pe care o numim forţă contraelectromotoare şi care se scade din E. Deci:

$$U = E - e = E - r.I.$$

Dacă I=0, adică dacă circuitul este deschis sau dacă (r) este practic neglijabil (cum este cazul acumulatorilor) rezultă că $U = E$.

Din relaţiile de mai sus putem scoate următoarele formule pentru curentul electric:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{E}{r} = \frac{U+e}{R+r} = \frac{E}{R+r} = \frac{E-U}{r} \qquad U = \frac{RE}{R+r}$$

ultima formulă constituind generalizarea legii lui Ohm pentru circuitul întreg.

Tot Ohm a mai cercetat şi factorii de care depinde existenţa electrică:

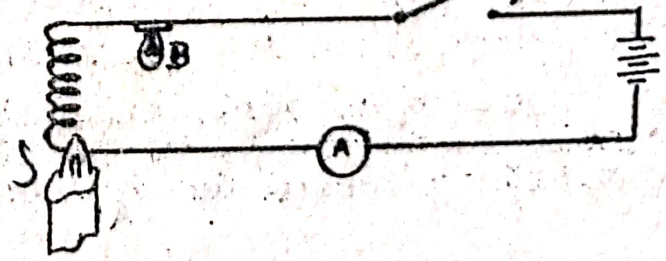
lungimea, secţiunea şi natura specifică a conductorului, de temperatura, etc.

Pentru a demonstra aceste fapte, să facem următoarea experienţă: de la o sursă de curent continuu cu o f.e.m. constantă pleacă un reofor ce ajunge la borna A a dispozitivului. Curentul ajuns aci, trece printr-un întrerupător şi un miliampermetru şi ajunge la borna B. De aci pleacă un fir ce poate să facă legătura cu una din cele opt borne (1,2,...8) ce sînt în legătură fiecare printr-un fir de rezistenţă variabilă, cu alte borne (1',2'....8')

Curentul după ce a trecut prin oricare din aceste rezistenţe, ajunge la borna C şi de aci la celălalt pol al sursei de curent.

Inchizînd circuitul cu ajutorul întrerupătorului, se observă că intensitatea va fi diferită (deşi f.e.m. este mereu constantă) după cum a străbătut un fir cu o secţiune mai mare sau mai mică sau, dintr-un material sau altul. Pentru a proba că depinde şi de lungimea firului, unim printr-o fişe cu rezistenţă neglijabilă 2 fire cu aceiaşi secţiune şi care sînt făcute din acelaşi material. Curentul va avea o intensitate de 2 ori mai mică.

Pentru a arăta că rezistenţa depinde şi de temperatură, se ia o bobină (P) pe care o punem în legătură cu o sursă de curent electric (S). Între sursă şi bobină se intercalează un bec electric (B), un întrerupător şi un ampermetru (A). Inchizînd circuitul, becul va arde puternic şi ampermetrul va arăta o anumită valoare. Incălzind firul de rezistenţă, becul va arde din ce în ce mai slab iar ampermetrul va arăta o intensitate din ce în ce mai



mică, cu cît firul de rezistenţă este mai cald.

Excepţie fac electroliţii şi cărbunele, la care rezistenţa prin încălzire, scade.

Pe variaţia rezistenţei în funcţie de temperatură, se construiesc unele aparate care determină temperatura prin măsurători de rezistenţă electrică (de ex.termometru de rezistenţă, bolometrul).

Sînt însă unele aliaje ca manganinul (84 Cu + 12 Mn + 4 Ni) şi constantanul (60 Cu + 40 Ni) care au o rezistenţă electrică aproape independentă de temperatură. Deaceea aceste aliaje se întrebuinţează la fabricarea rheostatelor, cutiilor de rezistenţă, etc.,aparate a căror rezistenţă nu trebuie să fie influenţată de temperatură.

La metalele pure, răcirea cu 1° micşorează rezistenţa cu cca.o,oo4 sau 1/273. Deci pe măsură ce ne apropiem de zero absolut, rezistenţa ar trebui să ajungă la zero. Insă unele metale (Pb) îşi micşorează treptat rezistenţa pînă la - 265,7°C. Trecînd de la - 265,79° la - 265,80° rezistenţa cade brusc la o valoare imfimă, devenind de lo miliarde de ori mai mică. Indiul,zincul, vanadiul, tantalul, cositorul, cadmiul se comportă la fel; altele ca aurul, argintul, cuprul nu prezintă acest fenomen, care ar putea să apară la o temperatură încă neajunsă. Acest fenomen de scădere bruscă a rezistenţei a fost descoperit de Kammerling Onnes care i-a şi dat numele de superconductibilitate.

De îndată ce se apropie un magnet de un fir supraconductor, acesta îşi recapătă brusc rezistenţa şi este nevoie de o temperatură şi mai scăzută pentru a se ivi din nou supraconductibilitate.

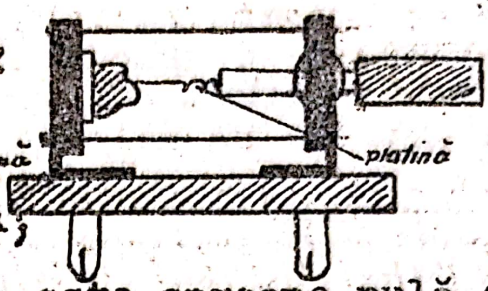
Toţi aceşti factori de care depinde rezistenţa au fost reuniti de Ohm în formula :

$$R = \rho \frac{l}{s} (1 + \alpha t)$$

(ρ) reprezintă rezistenţa specifică sau rezistivitate. Rezistivitatea unui material este rezistenţa unui fir din materialul respectiv, cu secţiunea de 1 mmp.,lung de 1 m.şi la temperatura de 20°C.

Unele corpuri, cum este cristalul de galenă (sulfura de plumb) şi pirita (sulfura de fier)prezintă fenomenul de conducere unilaterală, adică,

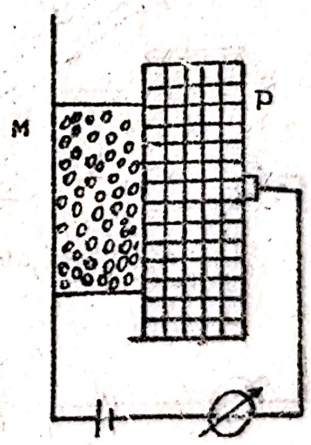
conduc curentul mult mai bine într-un sens. Dacă fixăm un cristal de galenă la un suport metalic şi îl punem în contact în cealaltă parte cu un vîrf metalic inoxidabil (platină sau cupru) şi dacă legăm acest dispozitiv la un acumulator de 2 v., obţinem o intensitate diferită după sensul curentului:



Dacă circulă de la galenă spre vîrf, intensitatea este mare, rezistenţa fiind de cîteva sute de ohmi; dacă însă curentul circulă în sens invers, intensitatea este aproape nulă, căci rezistenţa este de cîteva zeci de mii de ohmi.

Un alt fenomen curios este fotoconducerea, adică variaţiile rezistenţei unui corp sub acţiunea luminii (seleniul, oxisulfura de thaliu, etc.). O vergea de seleniu este conductibilă la lumină şi izolatoare la întuneric. Lumina eliberează din interiorul atomului de seleniu electroni cari înlesnesc trecerea curentului electric.

Dacă curentul nu trece printr-un conductor unic ci prin contactul a doi conductori, rezistenţa depinde de apăsarea contactelor. Între o membrană metalică (M) şi un perete tot metalic (P) se află grăunţe de cărbune. Vorbind în faţa membranei, vibraţiile modifică apăsarea pe grăunţele de cărbune, variază contactul, deci rezistenţa şi deci curentul se trece prin dispozitiv va fi variat în ritmul vorbirii: este modulat. Acesta este principiul microfonului ce serveşte la trecerea de la vibraţii mecanice la curenţi modulaţi, de la sunet la electricitate.



Aplicaţiile legii lui Ohm

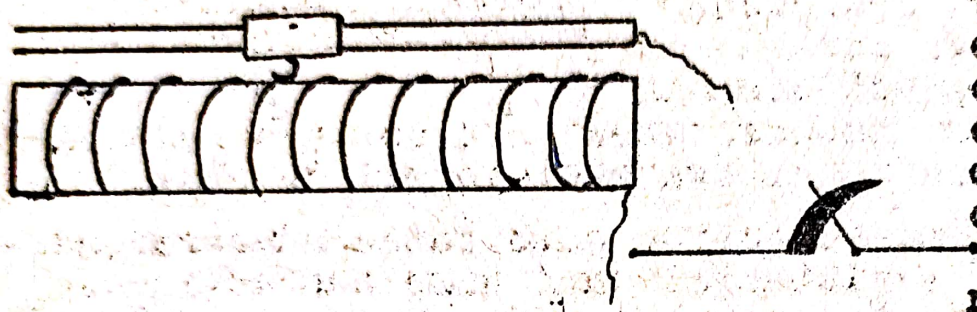
Această lege îşi găseşte aplicaţii în orice problemă de electricitate pe simplul motiv că ea arată interdependenţa directă dintre trei mărimi fundamentale ale electricităţii. Noi vom arăta doar cîteva din aceste aplicaţii şi anume acelea care

interesează în probleme de electricitate medicală.

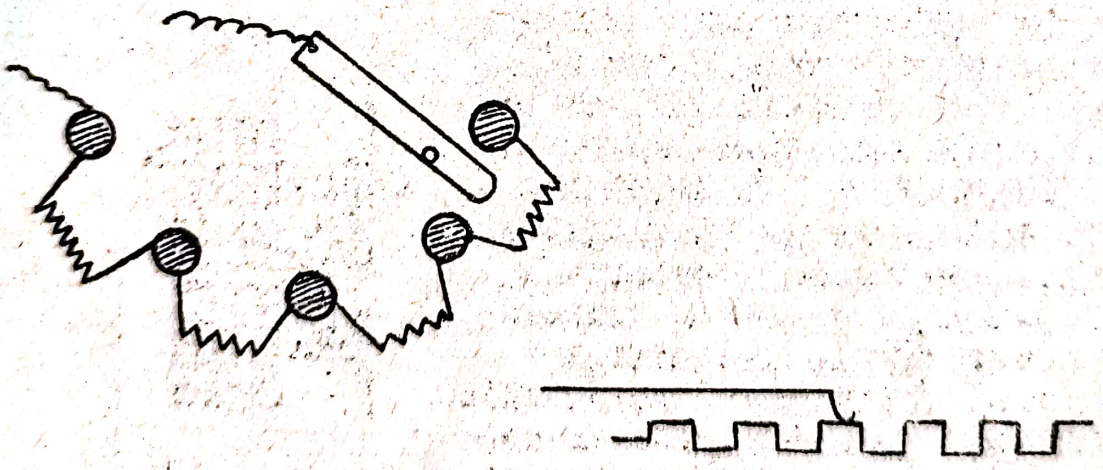
1) Rheostatele sînt aparate industriale care prin variorea unor rezistenţe, se poate varia intensitatea curentului.

Sînt diferite feluri de rheostate, dar în mare se împart în : rheostate cu variaţie continuă (cu cursor) şi rheostate cu variaţie fixă.

Rheostatul cu cursor constă din înfăşurarea unui fir pe un cilindru izolant. Una din extremităţile firului este legată de circuit cu un cursor legat de asemeni de circuit. Cursorul poate aluneca pe cilindru, astfel că după poziţia lui va trece curentul printr-un număr mai mare sau mai mic de spire.



Rheostatul cu variaţie fixă. Aci curentul traversează o serie de spirale întinse între barete de alamă. Deplasarea unei manete pe aceste barete (ploturi) permite să scoatem din circuit una sau

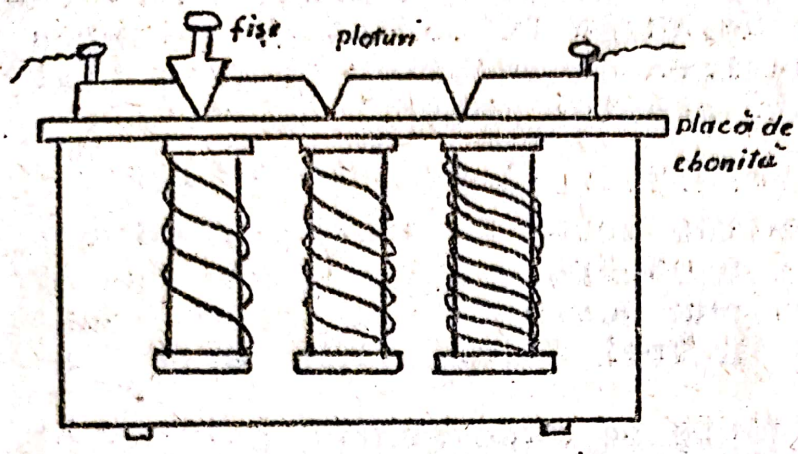


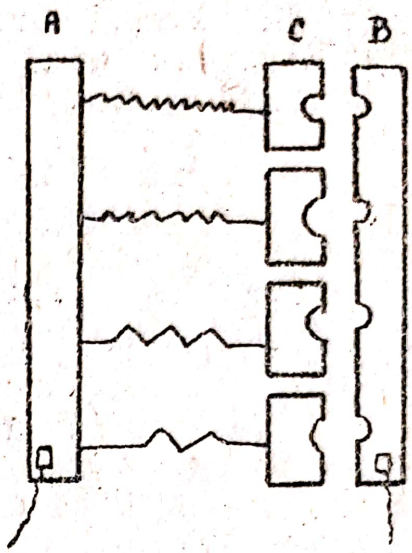
mai multe spire. (Rheostate cu ploturi şi manetă).

Tot în grupul rheostatelor cu variaţie fixă, intră şi rheostatele cu fişe sau cutiile de rezistenţă. Spre deosebire de celelalte rheostate, aci rezistenţele sînt perfect de bine cunoscute.

Rezistenţele dintr-o astfel de cutie se pot

lega : în serie sau în paralel.
La legarea în serie, introducerea unei fişe

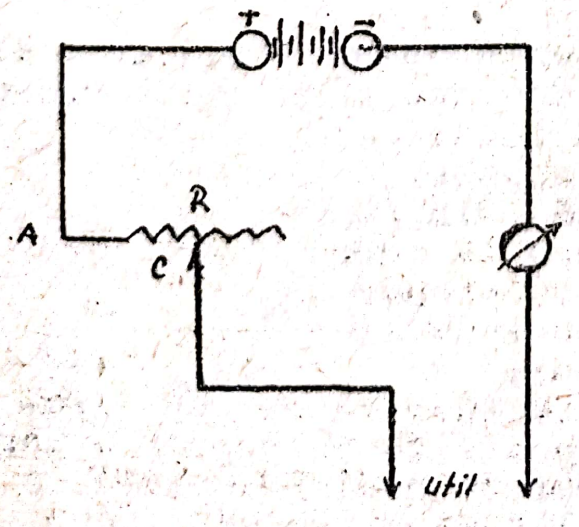


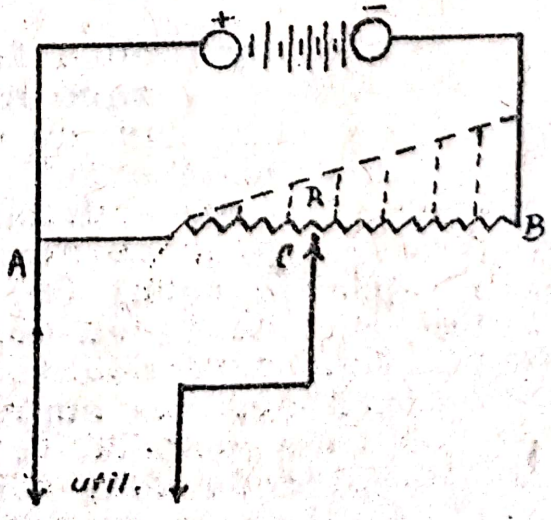


face ca şi cum practic n-ar exista rezistenţa.
La legarea în paralel prin introducerea fişei se introduce în circuit şi rezistenţa respectivă, deoarece prin fişe se închide circuitul.

Principiul rheostatelor rezultă din legea lui Ohm, potrivit căreia intensitatea curentului variază invers proporţional cu rezistenţa şi în relaţia cunoscută, după care, rezistenţa variază în raport direct proporţional cu lungimea firului.

2) Reductorul de potenţial. Dacă tensiunea sursei de curent se aduce la bornele de margine (A şi B) ale rheostatului, tensiunea se va repartiza în egală măsură în lungul firului, pe fiecare porţiune a sa şi pe fiecare ohm din rezistenţa rheostatului. Prin schimbarea poziţiei cursorului, se



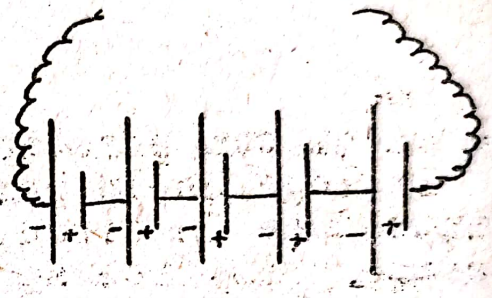


culege o tensiune mai mare sau mai mică, între valoarea maximă dată de sursa de curent şi valoarea de zero. De aici numirea de reductor de potenţial (potenţiometru) dată acestei montări de rheostat.

3) Montarea elementelor şi acumulatorilor.

Montarea mai multor surse de curent continuu se face cu scopul de a căpăta o intensitate sau o t.e.m mai mare, după cum cer nevoile. Deaceea montarea se poate face în trei feluri : în serie, în paralel şi mixt.

- Montarea în serie se face legînd polul - al primului element cu polul + al celui de al doilea ş.a.m.d., astfel că la urmă obţinem liberi cîte un pol la cele două capete ale lanţului.



In această montare creşte t.e.m. şi rezistenţa interioară proporţional cu numărul elementelor, în timp ce rezistenţa exterioară rămîne a unui singur element. Aplicînd legea lui Ohm, obţinem :

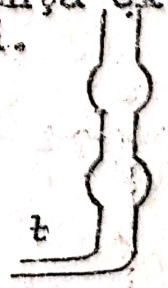
$$I=\frac{nE}{nr+R}=\frac{E}{r+\frac{R}{n}}$$

Dacă rezistenţa interioară (r) este foarte mică în raport cu rezistenţa exterioară (R), o putem neglija, obţinînd astfel :

$$\frac{E}{\frac{R}{n}}=\frac{nE}{R}$$

Astfel vom monta în serie atunci cînd avem nevoie de o t.e.m. mare şi cînd rezistenţa exterioară este mare în raport cu cea interioară.

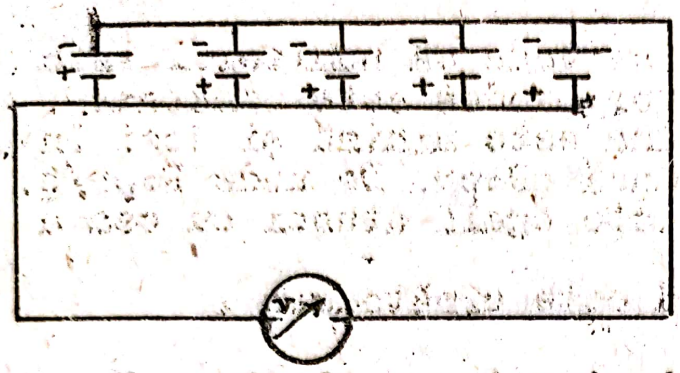
Analogia materială a acestei montări este cea hidraulică. Din fig. se vede că forţa de scurgere la care este supus în tubul (t) este proporţională cu înălţimea coloanei de lichid şi cu secţiunea tubului.



- Montarea în suprafaţă (derivaţie sau paralel) se face montînd toţi polii de un fel de o parte, şi polii de sens contrar de cealaltă parte. Se capătă astfel un singur pol pozitiv şi un singur

pol negativ.

In această montare, deoarece două elemente diferite ca suprafaţă au aceeaşi t.e.m.şi în cazul nostru, t.e.m.va fi a unui singur element. In schimb cu cît suprafaţa este mai mare, cu atît rezistenţa interioară este mai mică, aşa că în această montare, rezistenţa interioară va fi de n ori mai mică.



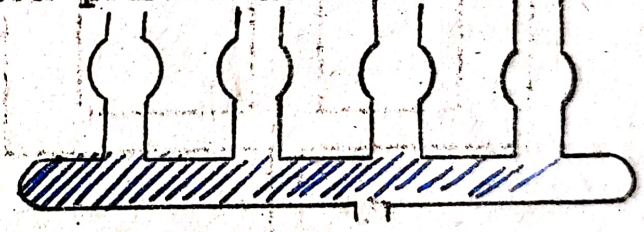
Aplicînd legea lui Ohm, obţinem :

$$I = \frac{E}{\frac{r}{n} + R} = \frac{nE}{r + nR}$$

Dacă rezistenţa exterioară (R) este neglijabilă scriem : $I = \frac{nE}{nr}$.

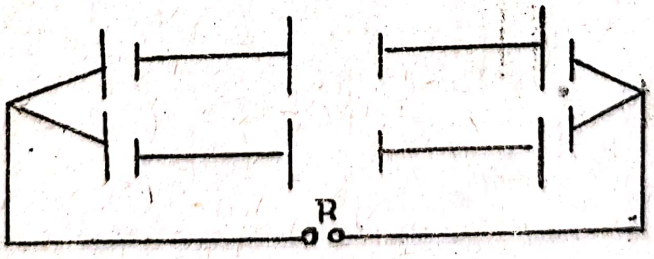
Vom monta elementele în derivaţie atunci cînd avem nevoie de o intensitate mare şi cînd rezistenţa exterioară este neglijabilă în raport cu cea interioară.

Analogia hidraulică pentru această montare este următoarea :



debitul creşte de n ori (cîte vase avem) deşi scurgerea se face ca dintr-un singur vas.

- Montarea mixtă se face legînd toate elementele în serie şi apoi în paralel sau invers.



In acest caz se obţine o intensitate, o t.e.m. şi o rezistenţă mare. Pentru a obţine o intensitate cît mai mare trebuie ca rezistenţa exterioară să fie cît mai egală cu rezistenţa interioară, montarea convenind cel mai mult cînd R = r.

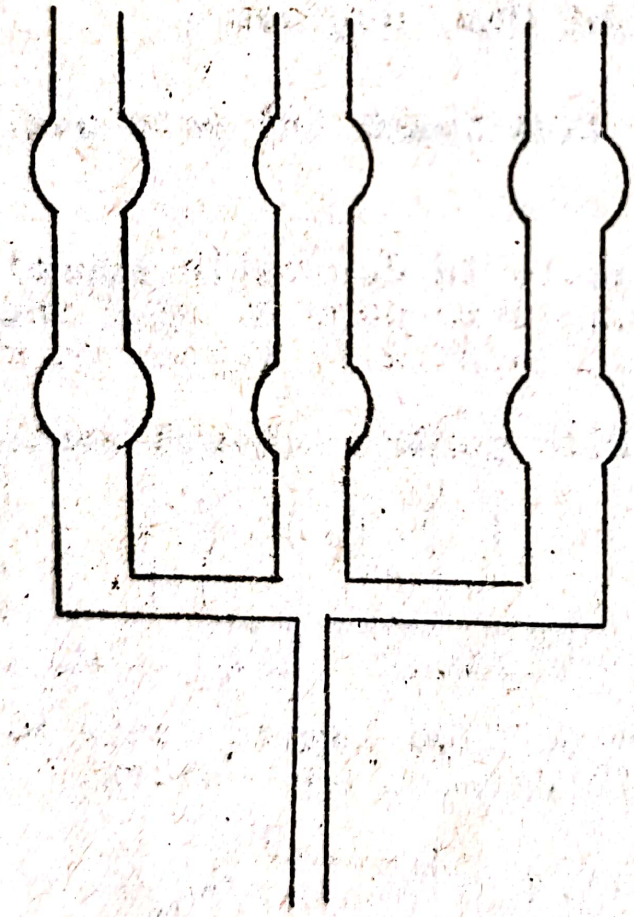
Notînd cu n nr.total de generator, cu q seriile paralele cu p generatori fiecare, obţinem :

t.e.m.= p.E iar r = pr/q, aşa că aplicînd legea lui Ohm :

$$I=\frac{pE}{R+\frac{pr}{q}}=\frac{pqE}{qR+pr}=\frac{nE}{pR+pr}$$

Sub această formă se vede că numitorul este suma a doi termeni a căror produs este constant : pqR = nrR = constant. Suma este minimă şi deci intensitatea este maximă dacă qR=pr. De unde R=pr/q. Rezistenţa interioară este egală atunci cu cea a firului interpolar.

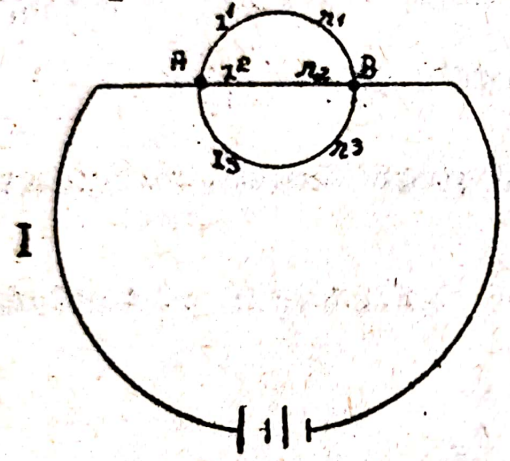
Analogia hidraulică este următoarea :



Legile lui Kirchoff

In timp ce legea lui Ohm se aplică pentru un circuit simplu (format dintr-un singur fir conductor), legile lui Kirchoff se aplică pentru reţele de circuite, deci sînt legi ale curenţilor derivaţi. Legile lui Kirchoff nu sînt astfel altceva decît legea lui Ohm aplicată în cazul circuitului multiplu.

Considerăm un circuit principal din care derivă trei circuite derivate ce se separă din punctul A şi se reunesc în B pentru a reforma circuitul principal. Intercalînd o pilă electrică în circuitul principal, la trecerea curentului electric se va stabili între punctele mai sus amintite o diferenţă de potenţial invariabilă, iar în punctul A curentul se va împărţi în cele trei ramuri care apoi se reunesc în B.



Insemnînd cu i_1, i_2, i_3, intensităţile curenţilor care circulă în conductorii derivaţi ce prezintă respectiv rezistenţele r_1, r_2, r_3, vom putea spune că intensitatea curentului se va împărţi în trei, deci :

$$I = i_1 + i_2 + i_3 \qquad (1)$$

Această formulă reprezintă prima lege a lui Kirchoff : "intensitatea în circuitul principal este egală cu suma intensităţilor din circuitele derivate". Această lege este evidentă mai ales dacă ne referim la comparaţia hidraulică, întrucît nu poate să plece dintr-un punct mai multă şi nici mai puţină apă decît vine în acel punct.

A doua lege a curenţilor derivaţi sună astfel: "intensitatea într-un circuit este aceeaşi pe tot parcursul în afară de circuitele derivate".

Această lege se deduce de fapt din prima.

Notînd cu V şi V' potenţialele în punctele A şi B şi ştiind că diferenţa de potenţial pentru fiecare circuit este egală cu produsul dintre intensitate şi rezistenţă, putem scrie :

$$V - V' = i_1 r_1 = i_2 r_2 = i_3 r_3 \qquad (2)$$

Dacă din egalitatea (2) scoatem valorile lui i_1, i_2, i_3, adică : $i_1 = \frac{V-V_1}{r_1}$ $i_2 = \frac{V-V_1}{r_2}$ $i_3 = \frac{V-V_1}{r_3}$

şi le ducem în egalitatea (1), vom putea scrie : $I = \frac{V-V_1}{r_1} + \frac{V-V_1}{r_2} + \frac{V-V_1}{r_3}$

Scoţînd pe V-V' în factor comun, obţinem : $I = (V-V_1)\cdot(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3})$

Din relaţia V-V' = R.I., deducem că $I = \frac{V-V'}{R}$

Comparînd această formulă cu precedenta, deducem că : $\frac{V-V_1}{R} = V-V_1(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3})$

V-V' de o parte şi de alta a egalităţii reducîndu-se, rămîne :

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}$$

Această relaţie exprimă cea de a treia lege a lui Kirchoff şi anume: " inversul rezistenţei(conductibilitatea) circuitului principal este egală cu suma inverselor rezistenţelor (conductibilităţilor) circuitelor derivate".

Aplicaţiile legilor lui Kirchoff

Cu ajutorul acestor legi se poate afla foarte uşor rezistenţa fie a conductorilor solizi (metalici) fie a conductorilor lichizi (soluţiile electrolite) şi se poate explica montarea rezistenţelor.

1) Măsurarea rezistenţii conductorilor solizi se poate face cu ajutorul punţii lui Wheatstone . Aceasta este un aparat format din 4 rezistenţe montate în diagonală, formînd astfel un romb. Curentul electric de la un element (E) intră în aceste rezistenţe prin punctul A, se bifurcă şi iese prin punctul B. Celelalte două capete ale rombului(punctele C şi D) se unesc prin intermediul unui galvanometru foarte sensibil alcătuind adevărata punte.

Insemnăm cu Va, Vb, Vc şi Vd potenţialele elec-

trice corespunzătoare punctelor A,B,C şi D de pe circuit. După legea lui Ohm, vom avea :

$$Va-Vc=i_1r_1$$

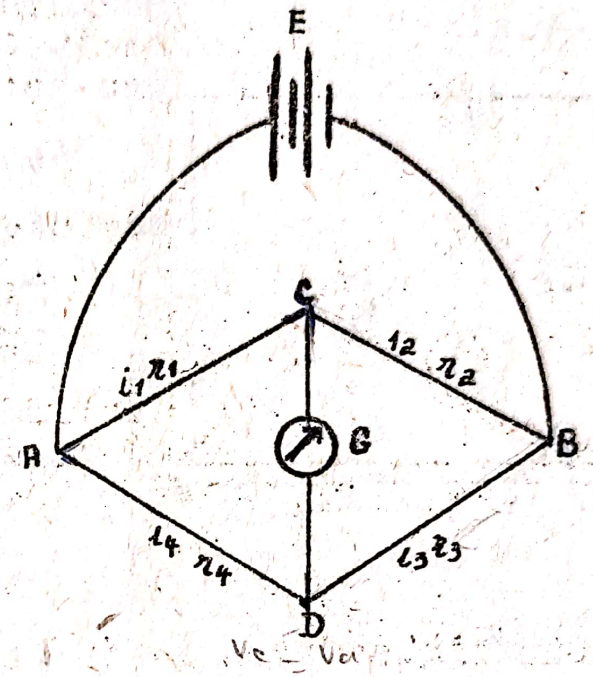
$$Va-Vd=i_4r_4$$

Dar ca să nu treacă curent prin puntea CD, trebuie ca toate punctele să aibă acelaşi potenţial. Deci :

$$Vc=Vd$$

De unde obţinem :

(1) $i_1r_1 = i_4r_4$



Curentul ajuns în punctele C şi D îşi va continua drumul pe conductorii CB şi DB cu aceeaşi intensitate, deci :

$$i_1=i_2 \text{ şi } i_4 = i_3$$

Aceasta deoarece legea fundamentală a intensităţii spune că aceasta este aceeaşi pe tot parcursul circuitului.

Aplicînd şi aci legea lui Ohm, putem scrie :

$$Vc - Vb = i_1r_2$$

$$Vd - Vb = i_4r_3$$

Vc fiind egal cu Vd, putem scrie : $i_1r_2=i_4r_3$ (2)

Impărţind relaţiile (1) cu (2), obţinem :

$$\frac{i_1r_1}{i_1r_2}=\frac{i_4r_4}{i_4r_3} \qquad (3)$$

de unde simplificînd, obţinem :

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{r_4}{r_3} \qquad (4)$$

adică în stare de echilibru a punţii, cele 4 rezistenţe formează o proporţie. In cazul cînd cunoaştem trei rezistenţe, putem foarte simplu afla pe cea de a patra prin a patra proporţională.

O perfecţionare a precedentei este puntea cu fir. La această punte, două rezistenţe (laturile AD şi DB) sînt înlocuite printr-un fir metalic per-

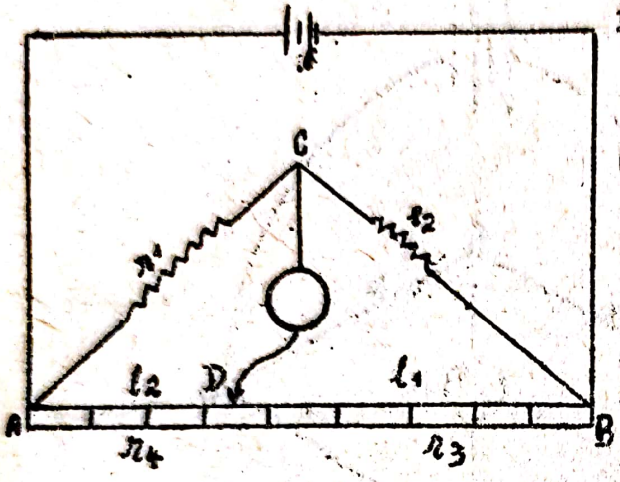
$V-V_1 = R \cdot I$

$I = \frac{V-V_1}{R}$

fect de bine calibrat şi lung de 1 m., pe care alunecă un cursor.

Ca să înţelegem trecerea de la puntea cu rezistenţe fixe la puntea cu fir, să considerăm punctul D pe aceeaşi linie cu AB. Să presupunem firul AB perfect de bine calibrat. Însemnînd cu l_1 lungimea segmentului DB şi cu l_2 lungimea segmentului AD, avem :

$$r_4 = \rho \frac{l_2}{s} \quad \text{şi} \quad r_3 = \rho \frac{l_1}{s}$$



de unde după reducere :

$$\frac{r_4}{r_3} = \frac{l_2}{l_1}$$

Introducînd această formulă în relaţia (4) obţinem :

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{l_2}{l_1}$$

Din fig. se vede că în acest caz determinarea rezistenţei necunoscute se rezumă la alegerea convenabilă a unei rezistenţe cunoscute şi la cunoaşterea lungimilor (l_1 şi l_2) a celor două segmente adiacente de pe fir, pentru care puntea este în echilibru electric.

2) Măsurarea rezistenţei conductorilor lichizi. Pentru conductorii electrolitici se utilizează mai des noţiunea de conductibilitate ce se notează cu C ($C=1/R$). Inversul rezistenţei specifice se numeşte conductibilitate specifică şi se notează cu λ ($\lambda = 1/\rho$).

Deci formula : $R = \rho \frac{l}{s}$, devine : $C = \lambda \frac{s}{l}$

Dacă la extremităţile unui conductor se aplică o diferenţă de potenţial de 1 v, vom avea : $I=1/R$. Cum $1/R = C$, înseamnă că :

$$I = C = \lambda \frac{s}{l}$$

Luînd un cub cu latura de 1 cm, C devine egal cu λ sau $I = \lambda$.

De aci rezultă că conductibilitatea specifică a unui electrolit este cantitatea de electricitate

care traversează într-o secundă o secţiune a electrolitului egală cu 1 cm^2, cînd diferenţa de potenţial este de 1 volt.

Din formula rezistenţei : $R = \rho \frac{l}{S}$ rezultă

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{R} \cdot \frac{l}{s}$$

Raportul $1/\rho$ reprezintă conductibilitatea specifică (λ); însemnînd cu K factorul l/s, formula de mai sus se scrie :

$$\lambda = \frac{K}{R}$$

Coeficientul K reprezintă capacitatea de rezistenţă a vasului de conductibilitate folosit şi valoarea lui este dată de distanţa dintre electrozi şi de suprafaţa lor comună. Ea se determină pentru vas măsurînd rezistenţa R a soluţiei căreia îi cunoaştem conductibilitatea (λ).

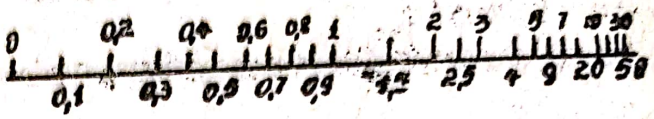
Conductibilitatea specifică a electroliţilor depinde de concentraţie (creşte cu concentraţia pînă la un maxim, apoi scade) şi de temperatură cu care este în raport direct.

Metoda de determinare a conductibilităţii specifice constă în aflarea rezistenţei specifice a electrolitului. Inversul rezultatului ne va da conductibilitatea specifică.

Aceste determinări se fac cu un aparat numit punţea lui Kohlrausch care nu este altceva decît o punte cu fir de care se deosebeşte prin următoarele fapte care rees din fenomenele chimice (polarizarea) ce se petrec cînd trecem un curent continuu printr-un electrolit şi anume :

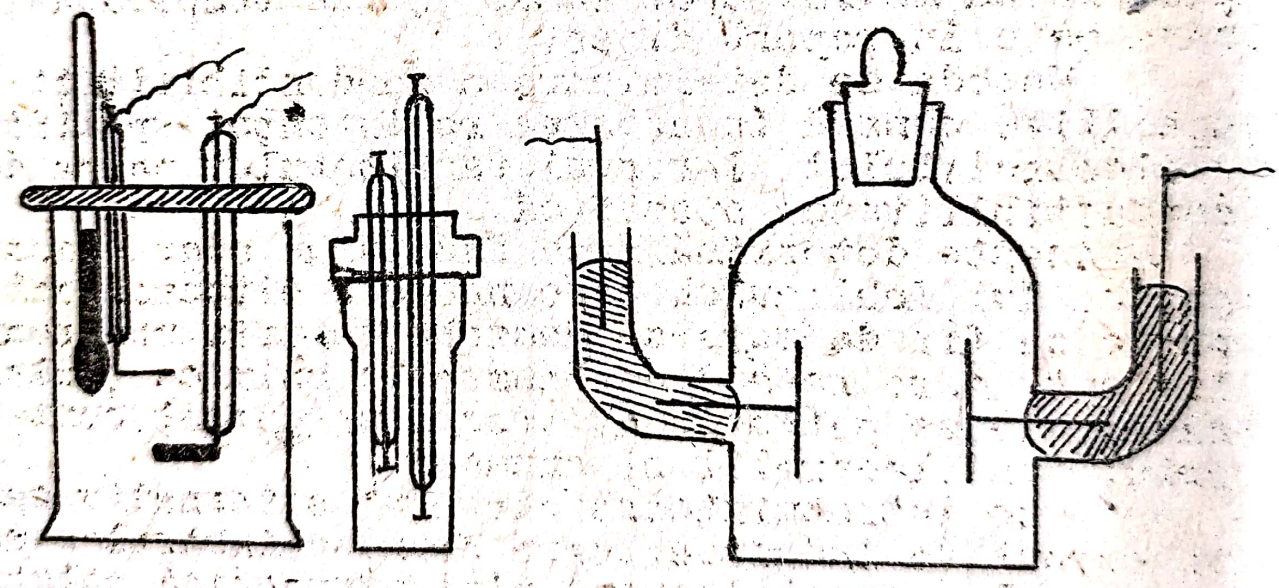
- se întrebuinţează curentul alternativ sau un curent de inducţie, care prin schimbările succesive ale sensului curentului, împiedică polarizarea, deci creşterea rezistenţei;
- în loc de gavanometru se întrebuinţează un telefon, căci gavanometrul din cauza inerţiei acului nu este în stare să urmărească variaţiile de sens ale curentului şi deci nu se poate măsura cu el curentul alternativ. Telefonul este mult mai sensibil şi ori de cîte ori un curent trece prin punte, produce un sunet continuu;
- poate avea un randament de curent pentru cazul cînd totuşi facem determinări cu gavanometrul;
- citirea se face imediat fără calcul, căci

firul are astfel de diviziuni încît ne dă direct raportul dintre cele două lungimi. De exemplu valoarea 1 înseamnă 50/50, valoarea 2 :66/33, etc.



Puntea lui Kohlrausch are însă un dezavantagiu : găsirea echilibrului punţii se apreciază cu urechea pentru momentul cînd nu se mai aude nici un sunet în telefon. Ori acest sunet niciodată nu poate fi complet stins, iar însuşi sunetul produs de bobina de inducţie ne poate înşela asupra minimului de zgomot.

Rezistenţa necunoscută este rezistenţa soluţiei de cercetat care se introduce într-un vas special, vasul de conductibilitate. El este de sticlă, pătrunzînd în el două plăci de platină ce reprezintă electrozii. Aceste plăci au o suprafaţă de 1 cm^2



şi sînt separate între ele printr-un spaţiu de 1 cm, astfel că măsurăm rezistenţa lichidului pe un volum constant de 1 cmc. Plăcile sînt acoperite cu negru de platină (ce se obţine trecînd prin vasul umplut cu o soluţie clorură de platină 1% un curent continuu ce se inversează de cîteva ori), care fiind spongios face ca suprafaţa electrozilor să fie mare, deci densitatea curentului va fi mică. In acest fel cantitatea de electricitate repartizată pe fiecare punct al electrozilor este prea mică pentru a favoriza o polarizare intensă. Deoarece temperatura in-

O determinare simplă a conductibilităţii se poate face şi astfel : socotind R_2 cutia cu rezistenţe şi R_3 şi R_4 diviziunile firului, în R_1 punem pe rînd, întîi sol.etalon şi apoi sol.de cercetat. Dacă de ex.găsim pentru etalon : $R_2 = 100$; $R_3 = 32$; $R_4 = 18$, vom spune : $R_1 = 100 \cdot \frac{32}{18} = 177,7$

Apoi introducem sol.de cercetat :

$$R_x = R_2 \cdot \frac{R_3}{R_4} = 100 \cdot \frac{23}{27}$$

Dacă etalonul are conductibilitatea K=0,0056, vom putea afla conductibilitatea sol.necunoscute (λ) din formula :

$$\lambda = K \cdot \frac{R_1}{R_x} = 0,0056 \cdot \frac{R_1}{R_x}$$

Conductibilitatea specifică a apei celei mai pure care se cunoaşte este de $0,7.10^{-7}$. Apa bidistilată păstrată în vase de argint are o conductibilitate ce merge pînă la 2.10^{-6} , în timp ce apa distilată uzuală are după conţinutul său în CO_2, o conductibilitate vecină lui 10^{-5}. Apa de conductibilitate se obţine distilînd apa căreia i s-a adăugat MnO_4K sau reactiv Nessler.

Concentraţiile soluţiilor anorganice se exprimă în miliecvalenţi/litru din cauză că elementele se combină între ele unul cu altul în cantităţi echivalente. Echivalentul chimic al unui element în soluţie, este calculat prin împărţirea concentraţiei exprimată în gr/litru, prin greutatea atomică şi multiplicarea cu valenţa. De ex. concentraţia Ca^{++} în plasma sanguină este de 100 ml/litru. Greutatea atomică este de 40,07 şi este bivalent. Deci :

$$\frac{0,100 \text{ gr.} \cdot 2}{40,07} = 0,0049 \text{ echivalenţi/litru} = 4,9 \text{ mE/l}$$

3) Montarea rezistenţelor. Rezistenţele se pot lega în serie şi în paralel. Cunoscînd legea lui Ohm şi legile lui Kirchoff, ne va fi uşor să aflăm rezistenţa totală a unui circuit.

- Pentru montarea în serie : dacă considerăm o singură sursă dar cu mai multe rezistenţe legate cap la cap, se obţine :

$$E = I (R_1 + R_2 + R_3)$$

Deci rezistenţele legate

în serie dau o rezistenţă rezultantă egală cu suma rezistenţelor componente. Acest lucru se explică prin aceea că din formula rezistenţei se măreşte "l" pe cînd " ρ " şi "s" rămîn neschimbaţi.

- Pentru montarea în derivaţie aplicînd prima lege, avem : $I = i_1 + i_2 + i_3$ sau :

$$I = \frac{E}{r_1} + \frac{E}{r_2} + \frac{E}{r_3}$$

Deci :

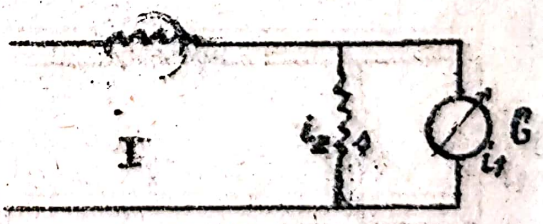
$$\frac{E}{I} = \frac{1}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}} = R_t$$

In această montare este evident că se măreşte "s" şi deci se reduce valoarea lui "R".

4) Shuntul este un dispozitiv accesoriu ce se montează la aparatele de măsură, cu rolul de a face să treacă prin el o parte din curentul ce intră în aparat, astfel ca deviaţia acului să se micşoreze; este deci o rezistenţă adiţională montată astfel încît aparatul să poată fi utilizat pentru valori mai mari decît cele înscrise pe scară.

Shuntul se montează în serie pentru voltmetre şi în paralel pentru ampermetre.

Iată cum funcţionează : să notăm cu r_1 rezistenţa firului conductor din aparat şi cu r_2 rezistenţa shuntului. Curentul principal cu intensitatea I se distribuie pe cele două derivaţii. Notăm cu i_1 intensitatea curentului ce trece prin aparat (G) şi cu i_2 intensitatea curentului ce trece prin shunt (S). Conform legii curenţilor derivaţi, intensităţile sînt invers proporţionale cu rezistenţele derivaţilor respective :



$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{r_2}{r_1} = n$$

Reese că rezistenţa aparatului este de (n) ori mai mare decît cea a shuntului şi în schimb intensitatea din shunt este de (n) ori mai mare decît cea a aparatului, deci :

$$i_2 = n \cdot i_1$$

Din legea întîia a curenţilor derivaţi ($I=i_1+i_2$ înlocuind în formula de mai sus, se obţine :

$$I = i_1 + n.i_1 = i_1 (1+n)$$

Această formulă reprezintă relaţia dintre intensitatea curentului principal şi intensitatea curentului din aparatul de măsură. Factorul $1+n$ reprezintă puterea multiplicatoare a shuntului şi cu el se înmulţesc valorile lui i_1 citite la aparatul de măsură, pentru a afla pe I.

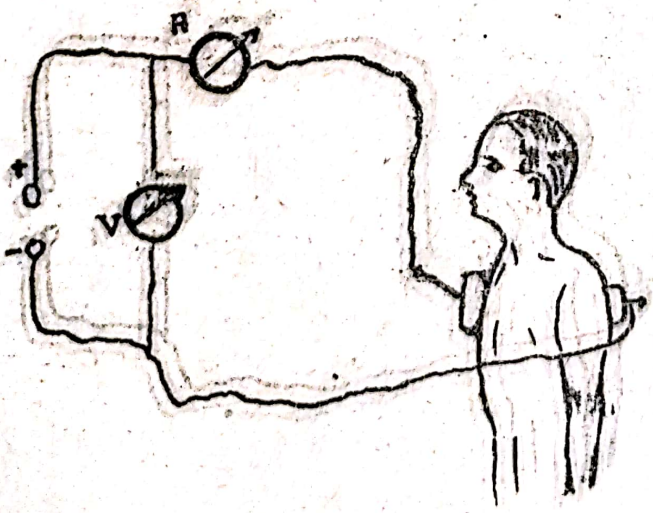
De obicei shuntul este compus din mai multe rezistenţe, respectiv 1/9, 1/99, 1/999, etc. din rezistenţa aparatului. Dacă n=99, din formula de mai sus rezultă : $I=i_1 (1+99) = i_1.100$

Să presupunem că un miliampermetru astfel shuntat, indică o intensitate de 30 mA (0,03 A), astfel că intensitate curentului din circuitul principal va fi $I = 100 . 0,03 = 3$ Amp.

Aproape toate aparatele de măsură sînt înzestrate cu mai multe shunturi ce sînt închise fie în cutii speciale, fie mai adesea chiar în interiorul aparatului, unde, prin rotirea unui simplu buton, putem introduce în circuit oricare din shunturile aparatului.

Consideraţiuni biologice şi aplicaţii în medicină.

Teoretic, rezistenţa organismului uman se află aplicînd pe corp doi electrozi legaţi la polii unei surse de curent continuu şi montînd în circuit un ampermetru şi un voltmetru. Determinările făcute astfel nu au fost deloc concludente, rezistenţa variind după diverşi cercetători, între 200 ohmi şi peste un milion. Un astfel de dezacord nu este de mirare deoarece nu s-a ţinut seama de condiţiile experienţei (mărimea electrozilor, locul aplicării lor, natura lor, lichidul de îmbibare, intensi-

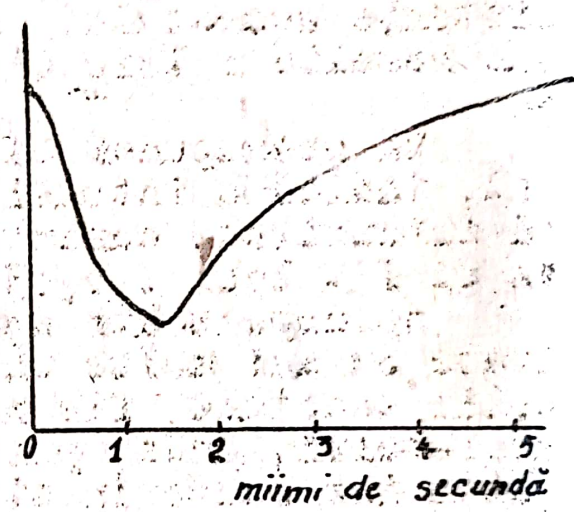


tatea şi timpul de trecere a curentului, etc).

De exemplu la aceeaşi determinare, rezistenţa suferă variaţii sistematice pentru aceleaşi condiţiuni. Aceste variaţii se împart în două grupe :

- unele se produc în timpul trecerii curentului, căci la aplicarea unei tensiuni electromotrice constante, intensitatea creşte progresiv;

- altele ce întovărăşesc schimbările de tensiune ale sursei şi anume : atunci cînd se creşte t.e.m., intensitatea în loc să crească în raport direct proporţional conform legii lui Ohm, creşte mai repede ca şi cum ar scădea rezistenţa circuitului. Cu ajutorul unui oscilograf se constată că intensitatea la început scade brusc pentru a atinge o valoare minimă (în timp de cca. o miime de secundă, timp de altfel variabil în funcţie de t.e.m. a sursei). După acest minim, curentul creşte dar mult mai lent decît scăderea iniţială.



Pentru voltaje mici, acest minim se produce mai tîrziu şi creşterea intensităţii este foarte puţin marcată. Cu cît se creşte tensiunea sursei, cu atît minimul se produce mai repede şi creşterea consecutivă a intensităţii este mai precoce.

Indiferent de determinare, rezistenţa umană se consideră în medie la 4000 ω, variind foarte mult însă după locul unde se măsoară. Aşa de ex. Jellinek constată că rezistenţa de la dosul mîinii la abdomen este de 30-40.000 ω; de la mucoasa bucală la anus de 1000 ω, iar la pielea palmelor la lucrătorii manuali se ridică pînă la 100.000 ω. La aceste considerente trebuie să mai ţinem seama şi de faptul că organismul uman nu este un conductor omogen, curentul circulînd cu atît mai uşor cu cît ţesuturile sînt mai impregnate cu lichide, cu cît sînt mai bogate în ioni. Electricitatea este vehiculată în organismele vii ca şi în soluţiile saline, tot de ionii mobili, ce se transportă sub acţiunea cîmpului electric. Dar materia vie nu conţine numai substanţe saline ionizate; se găsesc şi corpuri puţin sau deloc conducătoare de electrici-

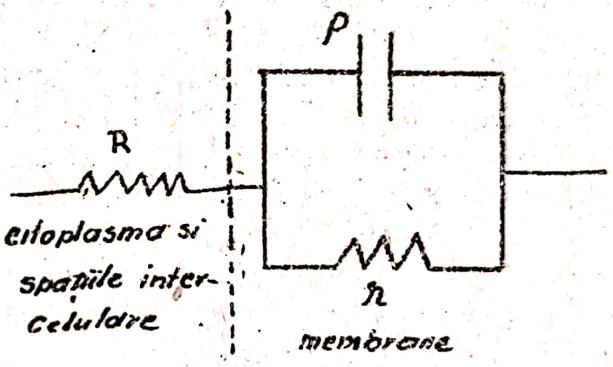
tate, aşa cum ar fi coloizii.

Un ţesut viu cuprinde cam 6o-9o% apă care ţine în disoluţie cca.1% electroliţi foarte disociaţi. Deci ţesuturile trebuie să fie bune conducătoare de electricitate. Dar totuşi lucrurile se complică deoarece trebuie să considerăm mai multe feluri de conductibilitate sau rezistivitate. Astfel impedanţa (reprezintă rezistenţa totală ce o întîmpină curentul alternativ într-un circuit) se descompune, cel puţin în următorii factori :

R = rezistenţa ohmică a citoplasmei şi spaţiilor intercelulare;

r = rezistenţa ohmică a membranelor celulare;

ρ = rezistenţa de polarizare (capacitanţa) a membranelor celulare.



Membranele celulare prezintă două feluri de rezistenţă din următoarele cauze : ele sînt bogate în lipoizi puţin conductori şi joacă astfel rolul dielectricului unui condensator, de unde capacitanţa ρ ;dar ele conţin şi electroliţi ce constituie o rezistenţă ohmică. Din schema alăturată se vede că impedanţa membranelor se prezintă ca o capacitate shuntată de o rezistenţă ohmică. Deci în cazul ţesuturilor organizate unde este o justapunere de medii heterogene inegal permeabile la ioni, trecerea curentului duce la o acumulare de sarcini electrice la limita de separaţie dintre diferitele medii, de unde apariţia de t.e.m. contrare, ce constituie o veritabilă polarizaţie internă. Dacă se calculează astfel rezistenţa ţesuturilor la curent continuu prin legea lui Ohm, se capătă o valoare relativ mare care nu este decît rezistenţa aparentă sau rezistenţa totală. Ea se modifică constant în timpul trecerii, cu durata de trecere a curentului, putînd fi de lo-loo ori mai mare decît cea iniţială, lucru foarte important căci ne arată rolul pe care-l joacă fenomenul de polarizare.

Cînd se lucrează cu curenţi foarte scurţi (sub 1/lo.ooo sec.) sau prin intermediul unui curent alternativ de mare frecvenţă, fenomenul de po-

larizare ne mai avînd timp să atingă o valoare apreciabilă, se va măsura o rezistenţă mult mai mică.

Fenomenul de polarizare este variabil în funcţie de ţesuturi şi de specia animalului, ea luînd naştere în special la nivelul pielii care reprezintă primul şi în acelaşi timp cel mai serios obstacol pentru trecerea ionilor, deoarece epiderma este săracă în ioni şi în acelaşi timp prin impregnarea ei cu produse uleioase ale glandelor sebacee, este izolantă. Ea devine conductoare cînd este impregnată cu ioni, adică atunci cînd avem o secreţie sudoripară sau cînd este imbibată cu un electrod spongios. Rezistenţa pielii este cu atît mai mare cu cît ea este mai groasă (de ex. planta, palmele), cu cît este mai uscată şi cu cît este mai bogată în glande sebacee. Pentru a proba importanţa pielii ca factor de rezistenţă, Jolly face următoarea experienţă: determină rezistenţa electrică şi o găseşte de 19o.ooo ω ; înlăturînd pielea cu ajutorul unui vezicator constată că rezistenţa scade la 64o ω , care reprezintă rezistenţa electrică a ţesuturilor.

Dar conductibilitatea electrică a ţesuturilor ne arată variaţii fiziologice a permeabilităţii membranelor. Moartea celulară face ca membranele să fie permeabile, diminuînd astfel rezistivitatea. Rezistenţa pielii şi a ţesuturilor scade în emoţii dezagreabile; la senzaţiile de durere (reflex psicho-galvanic). Există relaţii curioase între variaţiile de rezistivitate a ţesuturilor şi activitatea glandelor. Conductibilitatea electrică creşte prin permeabilizarea membranelor în stările ce se caracterizează printr-o activitate mitotică ridicată (cum ar fi la fetuşi şi în tumori) din cauză că celulele tumorale sînt puţin diferenţiate, membranele sînt slab polarizate şi activitatea mitotică ridicată. Conductibilitatea electrică a acestor ţesuturi este deci relativ mare. Faptul a fost folosit în electrodiagnostic pentru a localiza tumorile creerului. Rezistenţa mai scade în stările de şoc, acţiunea razelor X, insomnii, infecţii, hipertiroidism (bazedow pînă la 2ooo ω), neurastenii, choree..

Dubuisson a înregistrat la galvanometru cu coardă şi oscilograful catodic "ionograma" ce traduce variaţiile de impedanţă ale unui ţesut, de ex. muşchi, ce trece din starea de repaus în cea de activitate. La o creştere de conductibilitate măsura-

tă la joasă frecvenţă, trebuie să corespundă o creştere a permeabilităţii membranelor celulare. Acest autor putînd să înscrie sub formă de ionograma toate variaţiile de conductibilitate electrică a muşchiului, a arătat că impedanţa suferă mai multe variaţii ce se succed în timpul contracţiei şi anume :

- însăşi excitaţia produce o undă (+ a) de diminuare a impedanţei, deci de creştere a permeabilităţii, ce are aceeaşi durată ca şi vîrful potenţialului de acţiune.

Fenomenul ce urmează apoi poate să se prezinte sub două forme diferite :

- dacă muşchiul se scurtează liber (contracţie izotonică), se observă o undă (+ b) de creştere a permeabilităţii şi care este legată de deformaţie.

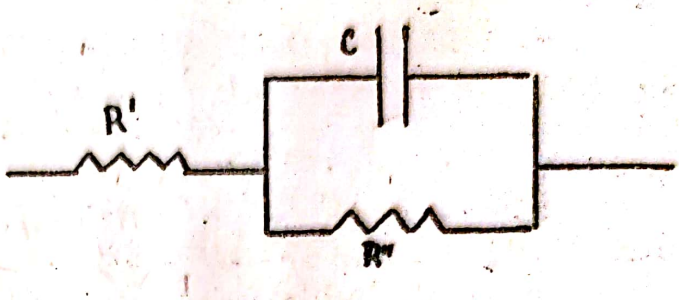
- Dacă muşchiul nu se scurtează (contracţie izometrică) se observă două unde succesive (- b_1 şi - b_2) de diminuare a permeabilităţii. Aceste două unde coincid cu vagiile emisiuni de căldură şi cu undele de diminuare a birefringenţei.

Unda b_1 este deprimată în stările de oboseală, dar rezistă la anoxemie. Este o undă de punere în tensiune.

Unda b_2 diminuă în anoxemie şi la acidul monoiod-acetic. Este o undă de relaxare ce este legată de fenomenul de hidroliză şi de resinteza fosfagenului.

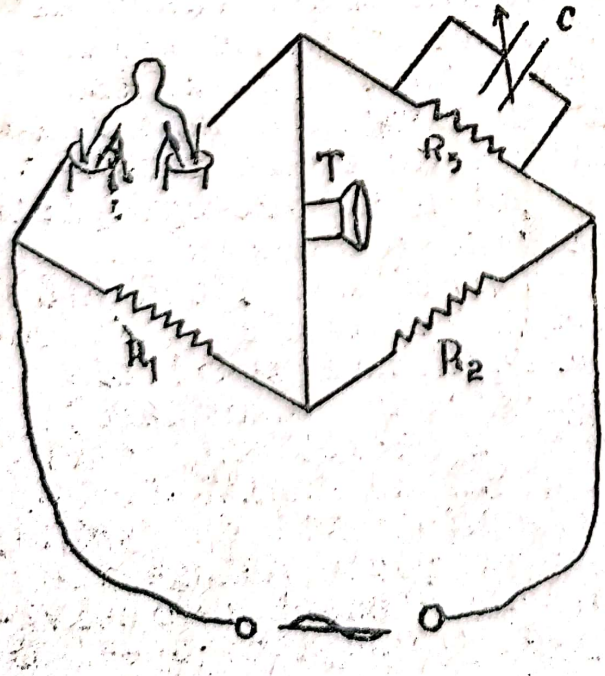
Din considerentele arătate mai sus, se poate trage concluzia că măsurarea rezistenţei umane are lucruri nedetrminate şi că deci nu se poate afla absolut exact. Din metodele de determinare citäm doar metodele lui Weiss şi a lui Bergonié care folosesc curentul continuu. Pentru a nu apare rezistenţa aparentă sau totală, se obţin valori apropiate, înregistrînd valoarea iniţială a curentului (măsurînd astfel rezistenţa iniţială sau adevărată care se calculează conform legii lui Ohm şi care reprezintă suma rezistenţelor diferitelor medii ale organismului lipsite de capacităţi de polarizare). Această înregistrare se face fie cu ajutorul unui oscilograf, fie întrebuinţînd curentul de înaltă frecvenţă a cărui schimbări de sens sînt atît de rapide, încît fenomenul de polarizaţie nu poate atinge valori apreciabile. In acest caz se măsoară rezistivitatea conţinutului celular (R). O menţiune specială

o are metoda lui Kohlrausch care utilizează curenţi de joasă frecvenţă, permiţînd să se măsoare rezistivitatea intercelulară şi aceea a membranelor la trecerea ionilor ($R+r+\rho$). Metoda constă în a compensa capacităţile de polarizare ale ţesuturilor (R') cu ajutorul unor condensatori montaţi în braţul simetric al punţii. Se realizează astfel un circuit aşa ca în fig.alăturată, care, la un curent alternativ, se comportă ca un organism întreg sau un fragment de ţesut.



Intr-un astfel de circuit, sub influenţa unei diferenţe de potenţial constante, va fi o fază iniţială de curent variabil în timpul căreia se încarcă capacităţile electrostatice. După ce acestea iau o sarcină maximă, fluxul electric va fi constant în toate rezistenţele şi deci şi în circuitul exterior. Pentru o altă valoare a tensiunii sursei, intensitatea totală care trece în regim permanent în organism, va fi modificată în aceeaşi proporţie. Deci neglijînd perioadele de încărcare ale condensatorilor, care de altfel sînt foarte scurte, circuitul poate fi considerat ca supunîndu-se legii lui Ohm.

Tehnica de lucru este următoarea : se utilizează un curent variabil cu o frecvenţă mare (cca 1500 oscilaţii/sec.) pentru a înlătura pe cît posibil apariţia rezistenţei aparente.



Ca aparat de zero se întrebuinţează tot telefonul care este de o mare sensibilitate.

Se montează aparatul aşa cum este indicat în figură.

Se modifică alternativ valoarea unei rezistenţe şi valoarea capacităţii pînă ce se obţine linişte

în telefon, sau dacă nu este posibil, pînă se aude un minimum de zgomot.

Cercetările de conductibilitate electrică a ţesuturilor au arătat lucruri interesante, dar mai sînt şi multe de făcut din cauza complexităţii problemei. Astfel din determinările practice făcute se constată că odată cu creşterea rezistenţei, descreşte concentraţia în apă a ţesutului respectiv : muşchii cu un procent de 78% apă au o rezistenţă relativă de 1; tendoanele cu 62% apă au o rezistenţă relativă de 1,8-2,5; nervii cu 7o% apă au o rezistenţă de 1,6-2,4; cartilagiile cu 66% apă au o rezistenţă relativă de 1,8-2,3 şi oasele cu 7% apă au o rezistenţă de 16-22.

In ce priveşte lichidele organice, se constată următoarele conductibilităţi :

- urina o,ol37 (B)-o,o325 (F)
- l.c.r.o,ol3o (B)-o,ol57 (F)
- ser o,olo9 (B)-o,oll6 (F)

După Kopaczewschi conductibilitatea serului diminuă în tuberculoză şi anemia permicioasă şi creşte uşor în arterioscleroză. Conductibilitatea sîngelui total la curent continuu sau alternativ de joasă frecvenţă, se datoreşte aproape exclusiv plasmei, hematiile comportîndu-se ca un corp neconductor, astfel că prin măsurători comparative ale sîngelui total şi ale serului, se poate deduce volumul global al hematiilor şi se pot aprecia variaţiile în proporţia lor.

Sîngele se recoltează cu anticoagulant fără acţiune asupra rezistivităţii (heparina în doză de o,5 mgr la lo ml sînge). Plasma se va separa cît mai repede de globule pentru a evita schimburile de ioni dintre ele. Rezultatul obţinut se poate transforma în miliechivalenţi de electroliţi la litru de plasmă, cu ajutorul formulei :

$$E = \frac{1,8.\ 10^6}{\rho(\ 1oo-o,25\ P)}$$

E = numărul total de miliechivalenţi la litru de plasmă; ρ = rezistivitatea plasmei la 18° în ω/cmc; P = concentraţia proteinelor totale, în grame la litru de plasmă.

Această formulă nu dă însă întotdeauna valori exacte ale electroliţilor din plasmă căci influenţa vîscozităţii şi a proteinelor, deşi de mică im-

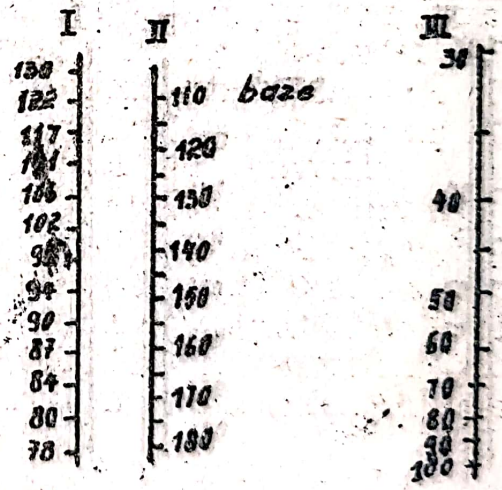
portanţă, este greu de eliminat în practică. Creşterea vîscozităţii micşorează conductibilitatea; pe de altă parte toate modificările pH-ului modifică conductibilitatea prin efectul exercitat asupra ionizării proteinelor. In cazul lichidelor extracelulare, cantitatea de meq. conţinuţi arată corect presiunea osmotică a lichidului respectiv, aşa că se poate stabili o relaţie între concentraţia de meq. şi datele rezistivităţii.

Miliechivalenţii din lichidul extracelular îi influenţează rezistivitatea. Dezechilibrele constatate între raporturile dintre meq. bazici şi meq. acizi inpun adeseori analize chimice complimentare iar pentru corijarea factorului proteic s-a propus o formulă de corecţie care se poate aplica la condiţiile de lucru

$$\rho C = \frac{100 - 0{,}22\ P}{100}$$

ρC = rezistivitatea plasmei corijate; ρ = rezistivitatea plasmei observată, exprimată în ω/cmc; P = proteine în gr.‰ (la 20°).

Prin folosirea cifrei rezistivităţei în raport cu concentraţia proteinelor serice, pentru determinarea concentraţiei bazelor totale ale serului folosim nomograma alăturată, în care coloana I reprezintă rezistivitatea în ohmi la cm. a plasmei la 18°; coloana II= baze totale ale plasmei (mg. la litru; coloana III = proteinele plasmei (gr.la litru).



Rezistenţa electrică a plasmei este de 92 ω/cmc la 18°. In funcţie de această valoare, lichidul extracelular poate fi hiper, hipo sau izotonic osmotic. Ţinînd seama că tensiunea osmotică a mediului extracelular trebuie să fie, cu mici variaţii, aceeaşi ori de cîte ori condiţii patologice o vor modifica, măsurarea rezistenţei va decela modificări de concentraţie ale electroliţilor din plasmă; spaţiul extracelular va trebui să primească sau să cedeze apa pentru izotonizare. După legile osmozei, este normal ca o hipertonie extracelulară să se asocieze cu o deshidratare celulară

şi o hipotonie extracelulară cu o hiperhidratare celulară.

Valorile cifrice ale rezistenţei plasmei dau o imagine fidelă a proporţiei de electroliţi conţinuţi, fără însă să specifice calitatea lor.

In incheiere trebuie să arătăm că la un individ normal, rezistenţa este socotită la 4000 ω şi poate creşte în : isterie, sclerodermie, unele afecţiuni mintale (melancolia depresivă), în afecţiunile unilaterală ale sistemului nervos (hemiplegii), în poliomielită (atît la adult cît şi la copii şi mai ales în muşchii bolnavi), în stările febrile, diabet, etc. boli în care poate ajunge pînă la 6000 ω.

SURSE DE ELECTRICITATE DINAMICA

Electricitatea dinamică se poate obţine prin mai multe procedee şi anume :

- prin reacţii chimice (elementele şi acumulatorii);
- prin reacţii fizice : termoelectricitatea (pila termoelectrică);
- prin reacţii mecanice : inducţia electromagnetică (alternatori, dinamuri);
- prin modificarea tensiunii superficiale;
- prin acţiunea radiaţiilor ionizante asupra unor metale : fenomenul fotoelectric.

Toate aceste procedee vor fi expuse rînd pe rînd în cursul capitolelor respective unde intervin ele. Aci nu ne vom ocupa decît de elementele sau pilele electrice. Acestea se împart în mai multe feluri, însă după principiul lor de funcţionare se împart în :

- pile voltaice (zise impropriu galvanice);
- pile de concentraţie;
- pile de gaz;
- pile de oxidoreducere;
- pile fotovoltaice.

Pila voltaică

Este în general formată dintr-un vas cu apă acidulată în care se cufundă doi electrozi de metale diferite. Capetele celor două metale formează polii, iar sîrmele care de obicei sînt de aramă şi care continuă electrozii, se numesc reofori.

Elementele formate din doi electrozi funcţionează pe seama unor reacţii chimice, De aceea ele sînt cunoscute sub numele generic de elemente chimice.

Cum ia naştere curentul într-o astfel de pilă? Meritul de a fi răspuns printr-o interpretare cinetică a mecanismului de producere a curentului, îi revine lui Walter Nernst. In rezumat teoria lui se bazează pe următoarele fapte :

- o substanţă solidă (un metal) se solvă într-un lichid cu o anumită forţă numită tensiune de dizolvare. Solvirea se face pînă la stabilirea unui

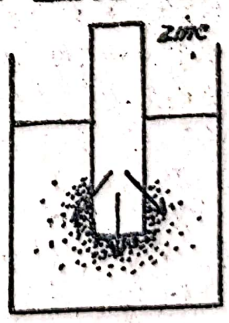
echilibru osmotic : tensiunea de disoluţie a unui metal este dată de presiunea osmotică a ionilor acelui metal în soluţie şi ea este o constantă caracteristică fiecărui metal în parte.

Dacă introducem un metal în apă pură, tensiunea de disoluţie pe care o are metalul face ca să treacă ioni de metal în lichid; aceşti ioni fiind încărcaţi pozitiv, vor da apei o sarcină pozitivă, iar metalul se va încărca negativ. La suprafaţa de contact a metalului cu apa se va forma un dublu strat electric, ionii metalici neputînd difuza în toată masa de lichid datorită forţelor de atracţie electrostatică.

Tensiunea electromotrice ce ia naştere între ionii din apă şi metalul negativ, tinde să readucă din nou ionii pe metal. Se stabileşte astfel un echilibru între tensiunea de disoluţie a metalului şi diferenţa de potenţial dintre metal şi lichid. Cum ionii transportă cu ei cantităţi mari de electricitate este deajuns ca o foarte mică cantitate de ioni să treacă în lichid pentru ca echilibrul să se stabilească. Cînd metalul este introdus în apă pură, diferenţa de potenţial este datorită numai tensiunii de disolvare; dacă este introdus într-o soluţie a unei sări de a lui, fenomenul este ceva mai complicat, diferenţa de potenţial depinzînd atunci şi de concentraţia ionilor din soluţie.

Tensiunea de disoluţie va fi cu atît mai mare cu cît concentraţia soluţiei este mai mică.

Pentru a pune în evidenţă această tendinţă de disolvare se scufundă o lamă de zinc într-un vas cu apă. Se constată la proiecţia pe un ecran, că de pe lama de zinc se desprind particule de substanţă ce formează în apă un fel de roi. Fenomenul este mai evident dacă în loc de apă avem apă acidulată, căci scoţînd lama după un timp din soluţie se constată că este găurită din loc în loc.



- Aceste forţe de disolvare i se opune o a doua forţă: forţă de precipitare ; datorită presiunii osmotice, ionii din soluţie tind să se precipite pe lama metalică pînă la stabilirea echilibrului osmotic. Cufundînd o lamă de cupru într-o soluţie de

sulfat de cupru, după un timp oarecare lama de cupru capătă un luciu particular datorită precipitării ionilor din soluţie pe lamă. Ca urmare lama se va încărca pozitiv iar soluţie dimprejurul metalului, se va încărca negativ. Deci presiunea osmotică se opune trecerii ionilor de pe metal în soluţie.

Se pot întîmpla trei cazuri după cum tensiunea de disolvare este mai mare, egală, sau mai mică decît presiunea osmotică a ionilor din soluţie (p):

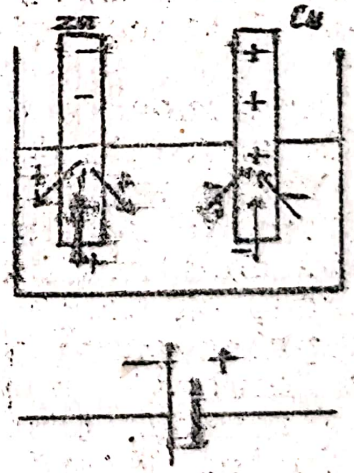
1. In cazul în care P> p, fenomenul care se produce este practic acelaşi ca şi în cazul apei : ionii din metal trec în soluţie şi metalul se încarcă negativ, iar soluţia pozitiv.

2. In cazul cînd P = p, echilibrul este atins de la început, aşa că nu se va naşte nici o diferenţă de potenţial între metal şi soluţie.

3. In cazul cînd P < p, pentru atingerea echilibrului, ionii din soluţie vor trece pe metal şi astfel metalul se va încărca pozitiv iar soluţia va fi negativă.

Metalele alcaline ca : Mn, Zn, Cd, Co, Ni, Fe, se încarcă negativ în soluţiile sărurilor lor, iar metalele nobile ca : Ag, Hg, Au, Cu, etc. se încarcă pozitiv.

Deci dacă vom cufunda într-o soluţie oarecare două lame, una de zinc şi una de cupru, lama de zinc se va încărca negativ iar soluţia din jurul ei, pozitiv. Lama de cupru se va încărca pozitiv iar soluţia din jurul ei negativ. Datorită forţelor electrostatice nu se petrece nici o difuziune a sarcinilor. Dacă însă legăm printr-un conductor exterior cei doi electrozi, se va produce un transport de sarcini de la zinc la cupru.



Pătura dublă electrică se suprimă datorită scăderii forţei de atracţie, şi ca urmare va fi un transport de electricitate de la soluţia din jurul cuprului, la soluţia din jurul zincului, deci întotdeauna sensul adevărat al curentului este dela minus la plus, spre deosebire de sensul tehnic care este de la + la -.

Deşi toate pilele funcţionează pe principiul enunţat mai sus, vom trece pe scurt în revistă cîteva tipuri de elemente dintre cele mai cunoscute.

Elementul Daniell este format dintr-un vas de sticlă în care se pune pe de o parte sulfat de zinc (sau acid sulfuric) şi o lamă de zinc, iar pe de altă parte o lamă de cupru şi o soluţie concentrată de sulfat de cupru. E = 1,o7 v.

Elementul Leclanché : un vas de sticlă în care se găseşte o lamă de zinc şi o sol. de clorhidrat de amoniu (ţipirig). La celălalt pol se găseşte o vergea de cărbune ce are înfăşurat în jurul ei MgO_2. E = 1,45 v.

Elementul Grenet-Poggendorf. Are ca electrozi o placă de cărbune şi una de zinc cufundate într-o soluţie de bicromat de potasiu. E = 2,o v.

Elementul Bunzen. Este la fel ca elementul Daniell numai că în vasul interior are acid azotic în loc de sulfat de cupru şi o lamă de cărbune în loc de una de cupru. E = 1,87 v.

Toate pilele arătate mai sus conţin soluţii şi deci sînt foarte incomode la transportat. Din această cauză s-au construit pilele aşa zise uscate care nu sînt altceva decît pile Leclanché în care soluţia electrolită este imobilizată într-o substanţă gelatinoasă (agar-agar, rumeguş de lemn, etc) care împiedică astfel scurgerea soluţiei. De obicei se montează în serie 3 pile alcătuind astfel o baterie.

Pilele arătate mai sus au un dezavantagiu enorm care le face aproape să nu mai fie folosite ca surse de curent : sufăr de fenomenul de polarizare, adică după un timp oarecare de funcţionare (ce depinde de tipul elementului şi de felul cum a fost întrebuinţat) t.e.m. scade treptat pînă ajunge nulă. Concomitent, rezistenţa interioară creşte, creindu-se un curent electric de sens contrar (tensiune contra-electromotoare).

Prin fenomenul de polarizare se înţelege orice fenomen electrochimic capabil să modifice starea electrozilor sau a electrolitului şi care face să apară o tensiune contra electromotoare.

Ea poate să apară pe un singur electrod sau pe amîndoi şi se poate produce prin :

- acumularea la electrozi a produşilor de descompunere electrolitică (gaze sau substanţe solide), alcătuind polarizarea gazoasă. Ea constă de obicei în apariţia de bule de hidrogen în jurul polului pozitiv. Aparent este un non sens ca hidrogenul care este electropozitiv să meargă la polul + cînd este ştiut că sarcinile de acelaşi sens se resping. Lucrurile se explică însă foarte uşor prin teoria lui Nernst. La polul + predominînd forţa de precipitare, la acest electrod vor veni ionii din soluţie. Cum în soluţie se găsesc ioni de H^+, aceştia vor depune pe electrozi sarcina pozitivă şi prin neutralizare se capătă hidrogen atomic care formează stratul izolator. Neutralizarea se face de către soluţia din jurul polului + căci aceasta are un surplus de electroni.

- diferenţa de mobilitate a ionilor, care creează o diferenţă de concentraţie a electrolitului în jurul anodului şi catodului, formîndu-se astfel o adevărată pilă de concentraţie, se creează o tensiune contra electromotoare. Este polarizarea de concentraţie. Ea poate să mai apară şi datorită reacţiilor secundare ce au loc în timpul electrolizei, reacţii ce dau naştere la alte substanţe decît electrolitul iniţial, creindu-se astfel tensiuni electromotoare de contact între lichide diferite.

Pentru a evita fenomenul de polarizare (în special cea gazoasă), trebuie să evităm contactul gazelor cu polul pozitiv, lucru care se poate face:

1. Pe cale fizică : în timpul funcţionării pilei, se agită continuu electrodul pozitiv. Desigur metoda nu este deloc comodă.

2. Pe cale chimică : silim gazul respectiv să intre în combinaţii chimice cu diverse substanţe numite depolarizante. De ex. hidrogenul gazos se îndepărtează prin reacţii de oxidare, reacţii care sînt foarte brusce şi care duc la măcinarea electrodului negativ. Pentru a preîntîmpina acest dezavantagiu se introduce polul + într-un lichid depolarizant şi electrodul negativ în lichidul excitator. Cele două lichide se separă de obicei printr-un vas poros.

Pile reversibile şi ireversibile. Dacă o t.e.m. exterioară este mai mică decît cea a pilei Daniell, această intră în funcţiune, zincul se dizolvă, în timp ce cuprul din sol. SO_4Cu se depune pe lama de Cu.

Dacă se ridică t.e.m. exterioară puţin peste cea a pilei, cuprul intră în soluţie, iar ionii de zinc din soluţie se depun pe zinc, restabilind exact starea iniţială. Din această cauză pila Daniell are o importanţă aparte fiind o pilă reversibilă.

Altfel se întîmplă lucrurile cu celelalte pile (ex.pila lui Volta : $Zn-SO_4H_2-Cu$). Cînd pila produce curent, zincul se dizolvă şi hidrogenul se degajă pe lama de cupru. Dacă se trece un curent electric exterior prin pilă, electrodul de cupru se dizolvă iar pe cel de zinc se degajă hidrogen. Deci nu se mai produce reacţia inversă, adică este o pilă ireversibilă.

Pila de concentraţie

Se deosebesc principial de elementele voltaice prin aceea că în timp ce la cele din urmă este nevoie de două metale diferite care să creeze o diferenţă de potenţial, în elementele de concentraţie este vorba de o diferenţă de concentraţie a aceleeaşi soluţii la cei doi poli sau electrozii sînt amalgame de concentraţii diferite. Reacţiile care se petrec în aceste pile sînt întotdeauna reversibile, adică pe măsură ce metalul intră în reacţie, pe aceeaşi măsură el se refăce.

După principiul lor de funcţionare se deosebesc trei feluri de pile de concentraţie :

- pile de concentraţie de primul tip sau pile de concentraţie cu transport;
- pile de concentraţie de al doilea tip, sau pile de concentraţie fără transport;
- pile de concentraţie cu o singură soluţie.

Pila de concentraţie de primul ordin

Este formată din doi electrozi de acelaşi metal, introduşi în soluţii de concentraţii diferite dar ale aceleeaşi sări. Soluţiile sînt separate printr-o substanţă conducătoare, sau sînt puse în contact direct.

Izvorul electricităţii într-o astfel de pilă este tendinţa celor două soluţii să ajungă la aceeaşi concentraţie. In acest caz, tensiunile de soluţie ale electrozilor sînt egale la ambii electrozi, ceea ce diferă sînt numai presiunile osmotice din cauza diferenţelor de concentraţie.

Reprezentarea schematică a unei astfel de pile

este următoarea :

$$Ag \;/\; NO_3Ag \;/\; NO_3Ag \;/\; Ag$$
$$c_1 > c_2$$
$$e_1 \qquad e_2$$

In pilele cu anioni :electrodul din sol.mai concentrată este -,iar cel din sol.mai diluată este +; în pilele cu cationi : electrodul din sol.mai diluată este -, iar cel din sol.mai concentrată este +.

Pila de concentraţie de al doilea ordin

Să examinăm o pilă de formă :

$$Ag \;/\; AgCl\ KCl \;/\; \text{amalgan de K} \;/\; KCl\ AgCl \;/\; Ag$$
$$c_1 > c_2$$
$$e_1 \qquad e_2 \qquad E = e_1 + e_2 + e_3 + e_4 \qquad e_3 \qquad e_4$$

Mecanismul de producere a curentului se face astfel ca soluţiile să ajungă la aceeaşi concentraţie întocmai ca şi în pilele de prim ordin, deoarece numai în acest caz sistemul poate executa un travaliu osmotic.

In soluţia mai diluată, reacţia trebuie să ducă la formarea de KCl, iar în sol.mai concentrată ClK din sol. trebuie să se desfacă.

In sol.diluată, ionii de K descompun AgCl,scoţînd clorul şi depunînd pe electrod o cantitate echivalentă de argint. Astfel electrodul din sol. mai diluată va fi încărcat pozitiv faţă de soluţie.

In sol.concentrată, ionii de argint se vor desprinde de pe electrod şi cu ionii de clor din soluţie vor forma AgCl insolubilă. Electrodul se va încărca negativ, iar soluţia pozitiv .

In acest sistem încărcarea este inversă ca în pilele de primul ordin cu cationi şi de acelaşi sens cu acelea cu anioni.

Pila de concentraţie cu o singură soluţie

Electrozii sînt formaţi din două amalgame ale aceluiaşi metal, de concentraţii deosebite; de ex. două amalgame de zinc de concentraţii diferite într-o soluţie de sulfat de zinc. Din cauză că zincul are concentraţii deosebite în amalgamele care constituiesc electrozii, va fi deosebită tensiunea lui

de dizolvare la cei doi electrozi, iar forţa de precipitare este aceeaşi.

Mecanismul chimic în timpul funcţionării este următorul : din amalgamul mai concentrat se desprind ioni de zinc care trec în soluţie, iar la electrodul mai diluat, ionii de zinc se descarcă. Astfel amalgamul concentrat constituie polul -,iar cel diluat constituie polul + al pilei. Originea energiei electrice se găseşte tot în tendinţa de a egala concentraţiile celor două amalgame care constituiesc electrozii.

Schematic, o astfel de pilă poate fi reprezentată astfel ;

$$Zn \;/\; sol.\ SO_4Zn \;/\; Zn$$
$$C_1 \qquad\qquad C_2$$
$$e_1 \qquad\qquad e_2$$
$$E = e_1 - e_2$$

Indiferent de tipul acestor pile, tensiunea electromotrice se poate calcula din următoarea formulă :

$$E = \frac{R \cdot T}{n \cdot F} \log. \frac{C'}{C''} + A$$

De unde, substituind : $E = 0{,}000198\ T \log. \frac{C'}{C''}$

R = constanta gazelor perfecte (8,32 jouli pentru un ion gram); T = temperatura absolută; F = încărcarea electrică a unui ion gram monovalent (96500 coulombi); n = valenţa ionului; A = constantă ce depinde de natura metalului.

Pila de gaz

Nu numai metalele pot constitui electrozi; se pot obţine electrozi şi cu gazele capabile să dea naştere, printr-o reacţie oarecare la ioni în soluţie. Dar pentru determinarea concentraţiei ionilor gazoşi (de ex.H^+) se iveşte aparent o mare dificultate : dacă pentru ionii metalici nu avem decît să luăm un vas cu sol.de cercetat în care să cufundăm o placă metalică de aceeaşi natură cu ionul de studiat, ar însemna ca pentru hidrogen să cufundăm o placă de hidrogen atomic într-o soluţie cu hidrogen ionic. Ori cum hidrogenul la temperatura obişnuită

este gazos, cum se poate face acest lucru?

S-a văzut că lama de platină platinată, adică lama de platină acoperită cu negru de platină, absoarbe hidrogenul şi dacă se cufundă într-o soluţie, ea pune în libertate ionii de hidrogen.

De fapt pilele de gaz nu sînt altceva decît pile de concentraţie de primul tip. Se pot forma astfel de pile utilizînd ca electrozi, gaze diferite, cum ar fi hidrogenul şi oxigenul. De ex.

$$O_2 \ / \ Pt - SO_4H_2 - Pt \ / \ H_2$$

T.e.m.a unei astfel de pile este de cca.1,1 v.

Tensiunea electrolitică de disolvare, întocmai ca şi pentru amalgame, va fi proporţională cu concentraţia hidrogenului la electrozi.

Pila de oxidare şi reducere

Reamintim că oxidare se numeşte, în sensul cel mai larg, creşterea sarcinii pozitive sau micşorarea sarcinii negative a unui ion. Reducerea este fenomenul invers.

Deci, o reacţie de oxidare se poate scrie :

$$Fe^{++} - e^- = Fe^{+++}$$

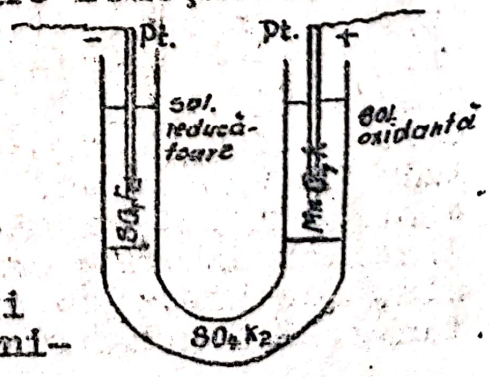
iar o reacţie de reducere :

$$Fe^{+++} + e^- = Fe^{++}$$

După cum se vede, reacţiile de oxidare şi reducere pot fi considerate ca reacţii electrochimice, astfel se poate oxida sulfatul feros cu permanganat de potasiu punînd în contact aceşti doi reactivi, dar putem realiza acelaşi lucru şi fără a pune aceşti reactivi în prezenţă şi anume, realizînd o pilă reprezentată schematic prin lanţul electrochimic :

$$Pt \ / \ SO_4Fe \ / \ SO_4K_2 \ / \ MnO_4K \ / \ Pt$$

Deci cele două soluţii care reacţionează sînt separate printr-o soluţie indiferentă de sulfat de potasiu.



Intre cei doi electrozi de platină cufundaţi într-un astfel de amestec, se va constata o diferenţă de potenţial, iar dacă electrozii sînt legaţi printr-un conductor, pila furnizează curent electric.

Mecanismul de producere a curentului electric este următorul : ionul feros pierzând un electron se transformă în ion feric; electrodul de sol.feroasă se va încărca astfel negativ. La electrodul din sol.de permanganat de potasiu, se produce reducerea acestuia prin trecerea de electroni de la electrod în soluţie; electrodul din sol.de permanganat se încarcă din această cauză pozitiv.

Deci electrodul din sol.reducăt oare devine pol -, iar cel din sol.oxidantă devine pol +.

T.e. m. a unei astfel de pile depinde evident, de intensitatea reducerii şi oxidării, adică de energia reactivilor întrebuinţaţi, din care cauză putem vorbi de un potenţial de oxido-reducere corespunzător unui anumit cuplu de substanţe. Valoarea acestui potenţial are un caracter cu totul relativ şi depinde de substanţele întrebuinţate, de concentraţiile lor şi de reacţia mediului.

electrodul	E^0			
Cr^{++} Cr^{+++}	-0,41	Fe^{++}	Fe^{+++}	+0,748
Sn^{++} Sn^{++++}	+0,150	Tl^{+}	Tl^{+++}	+1,22
Cu^{+} Cu^{++}	+0,159	$Pb^{++}PbO_2$	H^{+}	+1,467
		$PbSO_4$ Pb_2	H_2SO_4	+1,685

O pilă de oxidoreducere se poate face şi astfel: se ia o soluţie ce conţine ionul oxidat şi ionul redus al unui element oarecare, în care se cufundă un electrod pasiv (platină, cărbune, grafit). Se formează astfel un semielement ce va servi drept pol pozitiv unei pile de oxidoreducere.

S-a arătat că pe electrozii tuturor elementelor galvanice se produc reacţii de oxidare sau de reducere. Denumirea de elemente de oxidoreducere se foloseşte în sens mai restrîns numai pentru electrozii sau pentru pilele în care materialul electrozilor nu se modifică ci serveşte doar ca sursă sau ca receptor de electroni primiţi sau cedaţi de substanţele care se reduc sau se oxidează pe suprafaţa electrozilor. In fond deosebirea între aceşti electrozi şi electrozii examinaţi mai înainte, constă în faptul că în acest caz, atît produşii de oxidare cît şi cei de reducere, rămîn în soluţie şi nu se depun pe electrozi.

Pila fotovoltaică

Se bazează pe un fenomen descoperit la 1839 de A.C.Becquerel : într-o cuvă cu SO_4K_2 se introduc doi electrozi metalici acoperiţi cu Cu_2O. Unul

dintre electrozi se luminează (de obicei cu o lumină de undă mică). Se constată că electrodul luminat se încarcă negativ faţă de cel rămas neluminat, astfel că pus în legătură printr-un circuit exterior, ia naştere un curent electric. Intre electrodul luminat şi soluţia din cuvă se întîmplă reacţii chimice ce au ca urmare o tulburare a electronilor din metal, din oxidul de cupru şi din soluţie.

Aceste pile au fost studiate mai amănunţit în ultimii ani, fără a se fi ajuns însă la aplicaţii practice.

Pile etalon

Un grup cu totul aparte în categoria elementelor îl formează pilele etalon, numite astfel deoarece îşi menţin timp de decenii tensiunea electromotrice cu o constanţă extrem de mare (pînă la 1/1o.ooo).

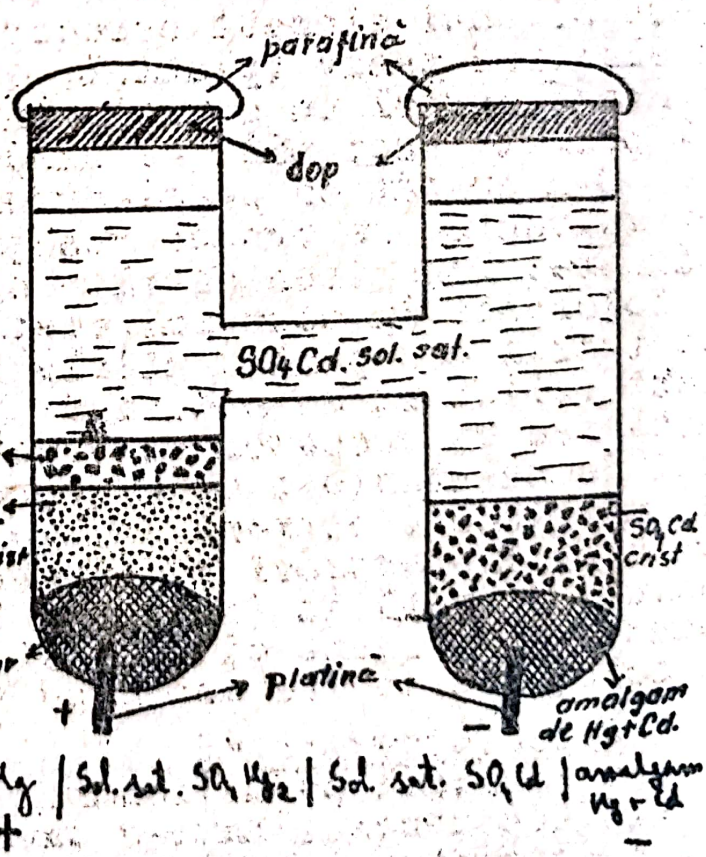
Au fost construite mai multe tipuri de astfel de pile dintre care însă cea mai cunoscută este elementul normal etalon Weston recomandat de Conferinţa Internaţională a Unităţilor Electrice din 19o8.

Pila Weston este formată dintr-un vas în formă de H la care, unul din ramuri serveşte drept un pol iar celălalt ram, drept celălalt pol.

Alcătuirea elementului este arătată în fig. alăturată.

Elementul se păstrează în vase închise, de obicei de lemn spre a fi ferite de efectul luminii ce acţionează asupra cadmiului.

Cînd debitează curent, în element se petrec următoarele reacţii :



la polul negativ : Cd^{++} şi SO_4^{--} formează SO_4Cd şi eliberează electroni;
la polul pozitiv : electronii eliberaţi la polul negativ ajung prin circuitul exterior aci, unde, neutralizînd o parte din ionii mercuroşi, mercurul se precipită.

Ionii de cadmiu rămaşi liberi la polul pozitiv şi radicalii SO_4^{--} rămaşi liberi la polul negativ, menţin echilibrul ionic al soluţiei deoarece ei se găsesc la aceşti poli în cantităţi mari.

Timpul de activitate a elementului, adică timpul cît trebuie să fie în circuit închis, trebuie să fie foarte limitat, deoarece t.e.m. scade foarte repede şi nu-şi revine decît greu la normal. Intensitatea curentului de încărcare trebuie să fie de maximum 1/10 amp.

Tensiunea electromotoare a acestui element este de 1,0183o v.internaţionali şi nu depinde decît de temperatură cu a 4-a zecimală.

Semielementele (electrodele)

Prin cufundarea unei lame metalice într-o soluţie oarecare, ia naştere la nivelul de contact dintre lamă şi soluţie, o t.e.m. care nu se poate măsura. Pentru a putea face acest lucru trebuie să se formeze o pilă completă, adică să mai adăugăm încă un semielement cu un potenţial cunoscut.

Electrodele cu potenţial cunoscut servesc astfel la aflarea concentraţiei ionice a unei soluţii oarecare. De ex.pentru a şti concentraţia în Zn^+ a unei soluţii de sulfat de zinc, se cufundă în această soluţie o vergea de zinc. Se formează astfel un semielement sau o electrodă. Pentru a avea elementul complet, se asociază o altă electrodă, de ex.una de cupru care va servi ca electrodă de referinţă sau de comparaţie. Prin această combinare se formează o pilă de următorul aspect :

Metal (Zn) / soluţie / electrod de comparaţie
Ex Ec

Tensiunea electromotrice a unei astfel de pile se determină prin metoda opoziţiei, metodă de care vom vorbi în alt capitol. Cunoscînd potenţialul (Ec) şi notînd cu Ex potenţialul ce trebuie aflat, se obţine relaţia :

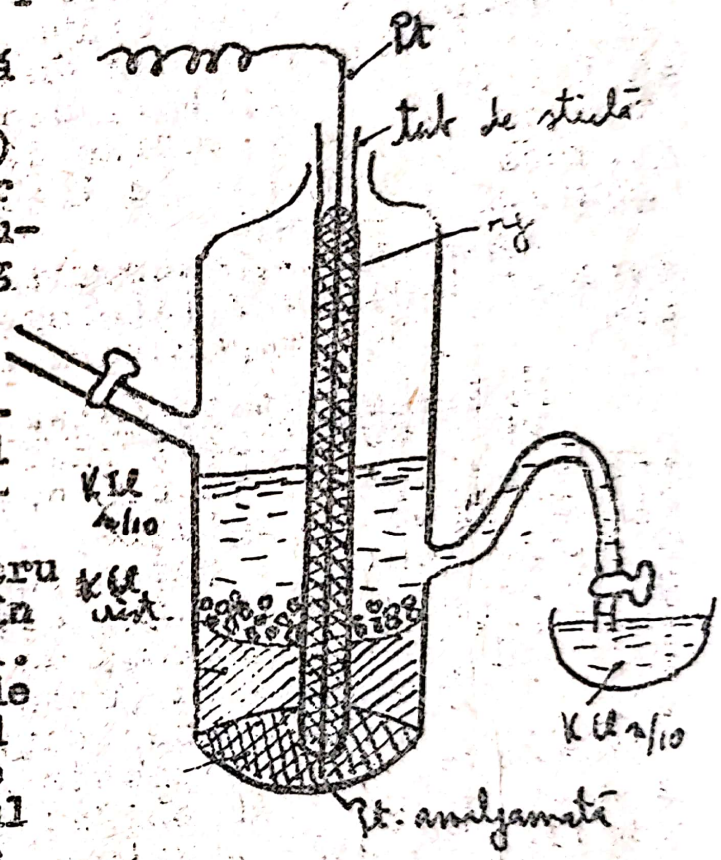
$E = I.(E_c - E_x)$, după cum electrodul de compara-

ţie este socotit pozitiv sau negativ.

In practică nu se utilizează orice electrod de referinţă deoarece se poate întîmpla ca să varieze concentraţia electrodei. De unde, schimbîndu-se E_o, rezultatele obţinute vor fi eronate. Din această cauză se utilizează electrode invariabile şi uşor de pregătit. Cea care răspunde cel mai bine acestor deziderate este electroda de calomel.

Electrodul de calomel.

Este format dintr-un mic vas de sticlă la fundul căreia se găseşte o pătură de mercur curat şi care se pune în contact printr-un fir de platină (ce în rest este izolat printr-un tub de sticlă) cu exteriorul. Acest fir formează polul electrodului de calomel. Peste Hg se pune un strat fin de calomel (Hg_2Cl_2), apoi cristali de KCl şi deasupra o sol.sat.de KCl n/1 sau n/10. Vasul este închis pentru a se evita evaporarea soluţiei, lucru ce ar duce la variaţii în potenţialul electrodului. Prin urmare electrodul de calomel este un electrod de clor în care ionii de clor nu provin din clorul gazos, ci din clorura de mercur solidă.



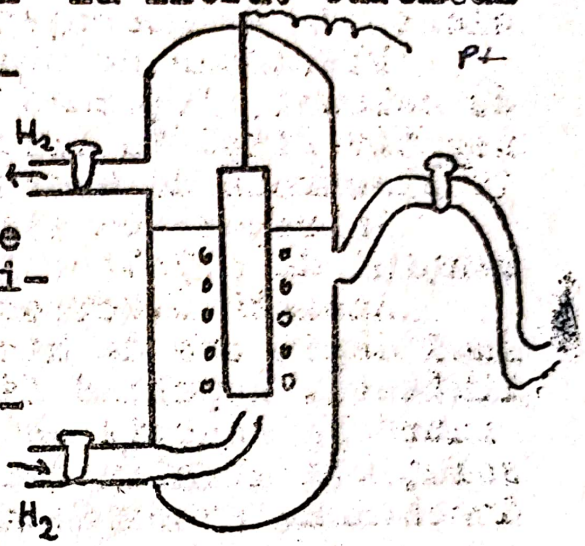
Un sifon electrolitic permite să se pună în legătură cu electrodul al cărui potenţial trebuie determinat. Sifonul este plin de obicei tot cu o sol.KCl de aceeaşi concentraţie.

Potenţialul electrodului în raport cu electrodul standard de hidrogen este, la temperatura de 25oC şi pentru o sol.n/1 de KCl, de o,2819 v; pentru o sol.n/10 E = + o,3369 v. iar pentru o sol.saturată E = + o,2458 v.

Electrodul de hidrogen

Poate avea o infinitate de forme. Este format

dintr-un vas de sticlă în care se găseşte un electrod de platină platinată. Electrodul este cufundat într-o soluţie de două ori normală de SO_4H_2 care fiind disociată 50%, se comportă ca şi cum ar conţine un echivalent gram de H^+ la litru. Curentul de hidrogen (care se ia de la un aparat Kipp) pătrunde printr-un tub lateral, trece prin soluţie, spală electrodul şi iese prin partea superioară a vasului. Acest hidrogen foarte curat saturează placa de platină platinată, transformînd-o deci în electrod de hidrogen. Curentul de hidrogen este trimis cu o presiune de o atmosferă.



Potenţialul electrodului normal de hidrogen este de 0,00 v., dar prin convenţie se consideră zero la orice temperatură. Toate potenţialele normale ale tuturor celorlalte electrode sînt raportate la acest zero convenţional.

Printre diversele modele de electrode de hidrogen cităm : electroda Sörensen, electroda Hildebrand (sau electroda clopot) ce se întrebuinţează mai ales în titrări şi electroda Sannié ce se întrebuinţează la măsurători de pH ale sîngelui.

Electroda de hidrogen este inutilizabilă în următoarele cazuri :

- cînd sol. de examinat este redusă de hidrogen în prezenţa negrului de platină (acid azotic, molibdenic, vanadic, tungstic, acizi organici nesaturaţi sau halogenaţi, nitraţi);
- cînd conţine anhidridă carbonică liberă.

Electrodul de chinhidronă

In loc ca hidrogenul să pătrundă din afară în soluţie, s-a găsit un compus chimic care să producă hidrogen chiar în interiorul soluţiei. Acest compus este chinhidrona ($C_{12}H_{10}O_4$) ce este o combinaţie moleculară de chinonă ($C_6H_4O_2$) şi hidrochinonă $C_6H_4(OH)_2$. Ea se prezintă sub formă solidă, albicioasă şi puţin solubilă în apă. In soluţii apoase

se dedublează în cele două componente, dintre care, hidrochinona se descompune în continuare în chinonă şi hidrogen. Cantitatea de hidrogen este extrem de mică, dar pefect constantă şi capabilă de a satura o lamă de aur sau platină, formînd astfel electroda de hidrogen.

Electroda de chinhidronă asociată cu electroda de calomel, formează un element reversibil, polul negativ fiind în electroda de calomel (invers ca în electroda de hidrogen).

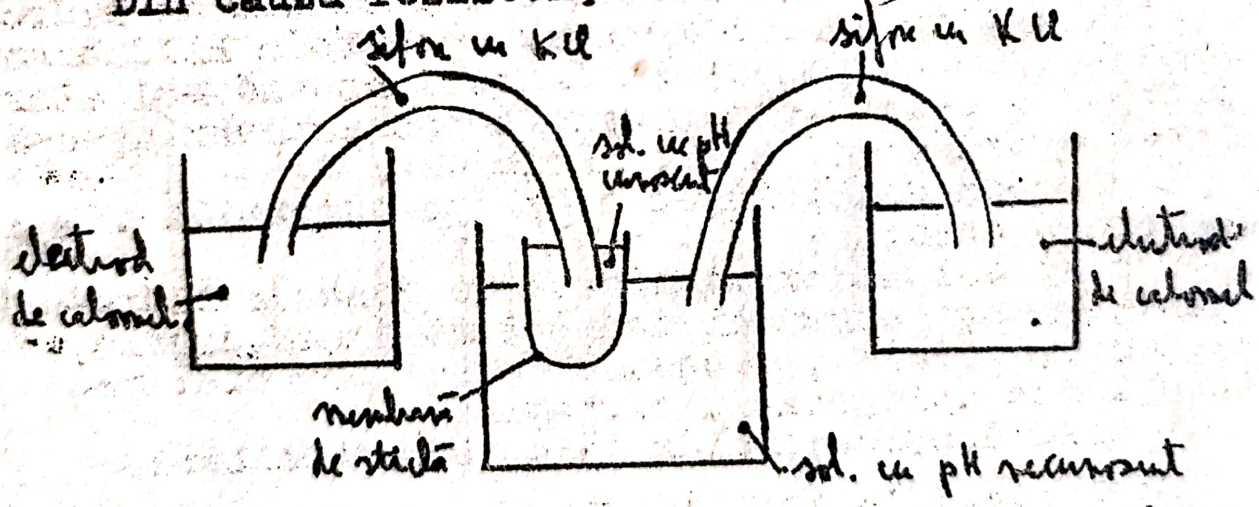
In raport cu electroda de hidrogen, are un potenţial de 0,7044 v.la 18°C.

Această electrodă este mai simplă şi mai comodă decît cea de hidrogen. Utilizarea ei este însă limitată, neputînd fi utilizată pentru compuşi ce intră în reacţie cu chinona sau hidrochinona, la soluţiile alcaline cu un pH mai mare ca 8 (cînd hidrochinona se oxidează) şi la soluţii concentrate.

Electroda de sticlă

Funcţionează pe principiul diferenţei ionilor de hidrogen a două soluţii separate printr-o membrană de sticlă foarte subţire (de cîţiva microni).

Din cauza rezistenţei electrice considerabile



a sticlei(cîteva milioane de ohmi pentru grosimea de un micron), curentul ce străbate această electrodă este foarte slab, el neputînd fi pus în evidenţă decît cu ajutorul unui amplificator.

Ea nu poate fi aplicată în cazul cînd pH-ul este mai mare ca 9. Are însă şi foloase de netăgăduit : nu cere decît cantităţi mici de lichid, nu are nevoie de reactivi suplimentari (curent de H, chinhidronă) şi funcţionează tot aşa de bine cu so-

luţii oxidante ca şi cu cele reducătoare.

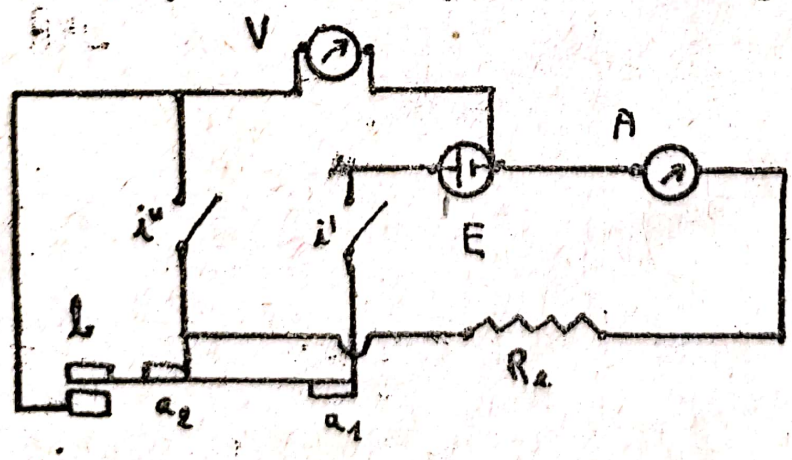
Dacă se montează o electrodă de sticlă ca în fig.de mai sus, se constată că elementul reversibil a cărei tensiune electromotrice se măsoară, este alcătuit din două electrode de calomel legate între ele prin intermediul unei electrode de sticlă.

DETERMINAREA EXPERIMENTALA A F.E.M.

Am văzut că f.e.m. este diferenţa de potenţial care ia naştere între doi electrozi atunci cînd aceştia nu sînt reuniţi printr-un conductor (în circuit deschis). Conform acestei definiţii este clar că determinarea f.e.m. a unei surse nu se poate face direct cu un voltmetru obişnuit, deoarece debitîndu-se un curent prin spirele bobinei voltmetrului, acesta nu va măsura decît tensiunea parţială pentru a produce curentul ce trece dela un pol la celălalt al voltmetrului. Această tensiune parţială pe care o măsoară voltmetrul montat direct la bonele pilei, numită tensiunea la borne, reprezintă o fracţiune din f.e.m. ce poate fi utilizată la exterior.

Tensiunea la borne poate fi egală cu t.e.m.a elementului numai în cazul cînd aparatul are o rezistenţă interioară foarte mare pentru ca intensitatea curentului din circuit să fie mică şi deci pierderele interioare din element să fie neglijabile. Cum practic acest lucru se întîlneşte extrem de rar, se preferă mai ales pentru determinări precise, nu metoda directă cînd T = E, ci una indirectă numită metoda compensaţiei, cînd cei doi electrozi sînt în circuit deschis;

1. Măsurarea t.e.m. cu ajutorul voltmetrului se face astfel : se ia un voltmetru de precizie dela 0-6 v, cu o rezistenţa interioară de cel puţin 500 /v, un miliampermetru de precizie dela 0-500 mA, o rezistenţă exterioară cunoscută(R) un taster(T), două întrerupătoare(i' şi i") şi elementul de studiat(E), toate montîndu-se conform schemei alăturate. Se apasă pe butonul b al tasterului astfel ca circuitul să fie întrerupt între a' şi a", iar ele-



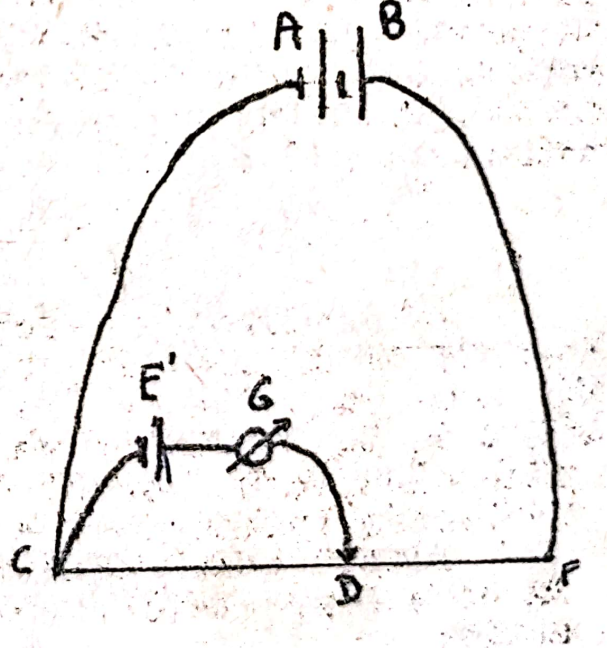
mentul (E) să nu mai debiteze curent în rezistenţa exterioară, astfel că rămîne branşat la bornele elementului numai voltmetrul nostru. Citirea t.e.m. trebuie să se facă imediat ce am apăsat pe butonul tastatorului căci altfel t.e.m.variază.

2. Metoda indirectă este mult mai precisă.

Principiul de determinare a fost imaginat la 1841 de Poggendorf şi poartă numele de metoda compensaţiei sau a opoziţiei.

Principiul acestei metode constă în acelă de a opune elementului de studiat, o diferenţă de potenţial $(V_a - V_b)$ de o astfel de valoare încît să împiedice funcţionarea primului. Ori în acest moment, elementul nostru neputînd produce curent electric înseamnă că tensiunea lui electromotrice (E) este egală cu diferenţa de potenţial $(V_A - V_B)$ dintre bornele polare ale elementului de studiat. Deci în aceste condiţiuni, diferenţa de potenţial cunoscută $(V_a - V_b)$ este egală cu $V_A - V_B$ şi deci şi cu tensiunea electromotrice (E).

Practic să luăm în consideraţie un circuit principal (AB), legat la bornele unui acumulator. In momentul în care facem să treacă curentul prin acest circuit, curentul trece dela A spre B. Deci între două puncte oarecare C şi D luate arbitrar pe acest circuit, va fi o cădere de potenţial cu atît mai mare, cu cît vor fi mai depărtate între ele. Montăm în C un circuit derivat (CEGD) ce are cuprins în el un element (E') a cărui tensiune e.m.vrem s-o aflăm şi un galvanometru sensibil (G). Montarea trebuie făcută astfel încît polul + al elementului să fie de aceeaşi parte cu polul + al acumulatorului. In momentul cînd curentul plecat din A ajunge în C, se pot petrece trei posibilităţi.



1. Curentul ajuns în C se împarte în două : o

parte merge direct prin circuitul principal de la C la D şi o altă parte trece şi prin EE'G. Ambele se unesc în D şi îşi continuă drumul mai departe către B.

Ca să treacă curent de la acumulator prin elementul nostru, înseamnă că elementul nostru are o t.e.m. mai mică decît t.e.m. debitată de acumulator. Deci:

$$V_{E'} < V_A - V_B$$

2) Curentul ajuns în C nu pătrunde prin circuitul derivat, trecînd doar direct prin CD. Atunci elementul nostru va debita un curent ce pleacă dela E, trece prin C, se uneşte cu curentul principal, în punctul D, se desparte de acesta şi prin G ajunge la E' singur, imprimînd acului galvanometrului o deviaţie de la D spre E', adică inversă celei din primul caz.

Inseamnă că elementul are o tensiune electromotrice superioară căderii de tensiune dintre C şi D:

$$V_{E'} > V_C - V_D$$

3) In cazul cînd t.e.m. a sursei (elementului) este egală cu diferenţa de potenţial dintre punctele C şi D (dată de acumulator), nici acumulatorul nu va putea trimite curent prin derivaţie şi nici elementul nostru nu va putea debita curent. Deci prin derivaţie netrecînd nici un curent, acul galvanometrului va sta la zero:

$$V_{E'} = V_C - V_D$$

In practică, la început se montează punctul C departe de D, căci în acest caz $V_C - V_D$ întrece pe $V_{E'}$. Acul va devia la dreapta. Apropiem treptat punctul D de C. Deviaţia va fi din ce în ce mai mică, pînă cînd la un moment dat, acul stă la zero. Dacă continuăm apropierea, acul va devia în sens opus.

Pentru cazul cînd t.e.m. a pilei necunoscute Ex este compensată (cazul care ne interesează), putem scrie:

$$\frac{E_{aG}}{CF} = \frac{Ex}{CD}$$

Pentru a determina apoi căderea între C şi D, se înlocuieşte pila necunoscută cu o pilă etalon,

In care se vede că fierul se reduce, iar hidrogenul se oxidează.

Să facem să se efectueze aceste două reacţii în vase separate. Separarea are folosul că putem măsura astfel electronic intensitatea reacţiilor de oxidoreducere, căci transportul de sarcini pozitive înseamnă în realitate un transport de electroni, deci un curent electric.

Într-un vas de electrodă să turnăm soluţia de sare ferică şi să introducem un fir de platină ca electrod, iar celălalt vas să nu fie altceva decît o electrodă de hidrogen, în care hidrogenul molecular H_2 trece în stare atomică H şi apoi în stare ionică H^+.

In această pilă se creează o diferenţă de potenţial ce duce curentul dela polul + la - (în realitate electronii se mişcă invers). T.e.m.a unei astfel de pile se poate calcula din formula lui Nernst, aşa că obţinem :

$$E = \frac{R.T}{n.F} \log \frac{c}{c'} + A$$

formulă în care : c = concentraţia ionilor metalice dela electrodul + şi c' = concentraţia ionilor dela polul -.

Cum constanta A din formula lui Nernst este egală cu :

$\frac{R.T}{n.F} \log \frac{C'}{C}$ formula completă devine :

$$E = \frac{R.T}{n.F} \log \frac{c}{c'} + \frac{R.T}{nF} \log \frac{C'}{C}$$

De unde, strîngînd termenii :

$$E = - \frac{R.T}{n.F} \log \frac{C.c'}{C'.c} = - 0,05773 \log \frac{C'}{C''} \quad (1)$$

Să luăm ca exemplu de oxidoreducere şi scoaterea cuprului din soluţii de către zinc, căci cufundînd o lamă de zinc într-o soluţie de SO_4Cu, lama se acoperă cu un strat de cupru, conform reacţiei :

$$SO_4Cu + Zn = Cu + SO_4Zn$$

Dacă facem abstracţie de radicalul SO_4 ce nu suferă nici o modificare în această reacţie, însemnînd sarcinile electrice, se observă :

$$Cu^{++} + Zn = Cu + Zn^{++}$$

adică ionul bivalent de Cu pierde două sarcini po-

zitive (deci se reduce) pe care le cîştigă ionul de zinc, care astfel se oxidează. Avem deci două reacţii : una de oxidare şi alta de reducere. Transportul de electroni se poate face direct dacă introducem lama de zinc în sol.de cupru, sau îl putem face să se petreacă prin intermediul unui fir conductor, ca în cazul elementului Daniell. In acest caz ia naştere un curent electric a cărui t. e.m. este determinată de puterea cu care se desfăşoară fenomenele de oxidoreducere din cele două electrode.

Aplicînd formula (1) a tensiunii electromotrice în cazul elementului Daniell, se obţine :

$$E = - \frac{R.T}{n.F} \log \frac{(Cu).\ (Zn^{++})}{(Zn).\ (Cu^{++})}$$

Din formulă se vede că în partea finală avem raportul dintre produsul concentraţiilor corpilor finali şi produsul concentraţiilor corpilor ce intră iniţial în reacţie, deci ca în legea maselor.

Formula se poate pune şi sub forma următoare:

$$E = \frac{R.T}{n.F} \log \frac{(Zn)}{(Cu)} + \frac{R.T}{n.F} \log \frac{(Cu^{++})}{(Zn^{++})}$$

în care primul termen din membrul II reprezintă constanta A. Deci elementul Daniell este un element de oxidoreducere, în care reacţiile parţiale se petrec între ionii şi atomii metalici respectivi.

Ne putem închipui că orice reacţie de oxidoreducere se petrece cu ajutorul hidrogenului :forma oxidată (Ox) trece în forma redusă (Red)printr-o reacţie globală, adică :

$$Ox + H = Red + H^+$$

Se observă că formula de mai sus cuprinde doi factori importanţi : hidrogenul gazos (H)şi ionul de hidrogen (H^+). Experimental, hidrogenul ionic se exprimă prin concentraţie, iar cel gazos prin presiunea măsurată în atmosfere, aşa că t.e.m a elementului oxidoreductor, depinde, atît de concentraţia ionilor de H^+, deci de pH-ul mediului, cît şi de presiunea hidrogenului gazos H, exprimată prin rH. Pentru un pH dat, t.e.m.de oxidoreducere depinde numai de presiunea hidrogenului, aşa că putem lua această presiune ca măsură a pu-

terii oxidoreductoare.

Reacţia globală arătată mai sus, se poate descompune în două reacţii parţiale :

$$Ox \longrightarrow Red$$
$$H \longrightarrow H^+$$

Facem ca aceste două reacţii să se petreacă în cîte un vas de electrodă. Pentru cea de a doua electrodă, să luăm o electrodă de hidrogen sau ori care alta în care se produce o reacţie chimică cu liberare de electroni, deoarece ceea ce determină reacţia de reducere din prima electrodă nu este altceva decît afluxul de electroni pornit dela electroda a doua, aflux ce poate fi produs de cele mai diverse reacţii:

Dacă asociem electrochimic cele două electrode, obţinem un element reversibil căruia îi putem aplica formula (1) :

$$E = -\frac{R.T}{n.F} \log \frac{(Red).(H^+)}{(Ox).(H)}$$

formulă care poate scrie şi sub forma :

$$E = -\frac{R.T}{n.F} \log \frac{(H^+)}{(H)} - \frac{R.T}{n.F} \log \frac{(Red)}{(Ox)}$$

Dacă însemnăm cu E_o primul termen din membrul II, obţinem :

$$E = E_o - \frac{R.T}{n.F} \log \frac{(Red)}{(Ox)}$$

Aceasta este formula generală care determină t.e.m.(E) a unui sistem oxidoreductor. Dacă se măsoară practic t.e.m. (E) a unei astfel de element şi dacă se construieşte curba în funcţie de raportul în amestec dintre forma oxidată şi cea redusă, se obţine o curbă ce prezintă un punct de inflexiune în care concentraţia formei reduse este egală cu cea a formei oxidate, adică pentru cazul cînd (Red) = (Ox) sau (Red) / (Ox) = 1. Valoarea E_o a t.e.m.în acest punct este numită potenţial normal al sistemului oxidoreductor sau sistem redox considerat. Lucrul este adevărat cu condiţia să se ţie seamă de t.e.m. a electrodului de referinţă, în raport cu acea a unei electrode normale de hidrogen (activitatea $H^+ = 1$; pres. $H_2 = 1$ atm.), a cărei t.e.m.prin definiţie este egală cu zero. De ex.pentru sistemul alcătuit din clorură feroasă şi clorură ferică,potenţialul normal are valoarea 0,714 v.

Cînd este vorba de substanţe disolvate şi disociate, orice mobilizare a sarcinilor electrice caracterizează fenomenul de oxidare sau de reducere. Cînd (Red)şi (Ox) sînt electroliţi puternici, ei sînt complet disociaţi pentru toate activităţile în ioni de hidrogen, iar potenţialul este independent de aciditatea mediului.

Cînd electrolitul nu este complet disociat, avem deasemeni :

$$E = E_o - \frac{R.T}{n.F} \log \frac{(Red)}{(Ox)}$$

Dar în soluţie avem şi molecule nedisociate. Aşa că dacă reprezentăm prin So totalitatea moleculelor şi ionilor în forma oxidată şi prin Sr totalitatea moleculelor şi a ionilor reduşi, se capătă pentru un anumit pH, o ecuaţie analoagă precedentei:

$$E = E'_o - \frac{R.T.}{n.F} \log \frac{(Sr)}{(So)}$$

Cum E'_o variază cu pH-ul, se numeşte potenţial de semireducere a sistemului.

Dacă luăm în consideraţie două soluţii cu o activitate electronică diferită (e)şi(e'), din termodinamică rezultă că prin cufundarea a doi electrozi de platină în cele două soluţii, diferenţa de potenţial ce rezultă, va fi :

$$E' - E = \frac{R.T}{n.F} \log (e') - \frac{R.T}{n.F} \log (e)$$

de unde :

$$E - E' = \frac{R.T}{n.F} \log \frac{(e)}{(e')}$$

Dacă într-una din cele două soluţii (de ex.în e'),hidrogenul gazos (H_2) se găseşte la presiunea de o atmosferă ($H_2 = 1$) şi concentraţia ionilor de hidrogen (H^+)este egală tot cu unitatea, înseamnă că (e')= 1 şi deci :

$$E' - E = E_h = - \frac{R.T}{n.F} \log (e)$$

Substituind lui (e) valoarea pe care am găsit-o cînd a studiat fenomenul de oxidoreducere ($e=K.H_2/$), căpătăm :

$$E_h = - \frac{R.T}{2.F} \log (H_2) + \frac{R.T}{n.F} \log (H^+)$$

Această formulă determină potenţialul de oxido-reducere al electrodei de hidrogen. Dacă transformăm

logaritmii neperieni în logaritmi zecimali (cu baza 10, sau vulgari), dacă $\log 1/(H^+)$ îl reprezentăm prin simbolul pH, dacă $\log 1/(H_2)$ îl reprezentăm prin simbolul rH, formula devine :

$$E_h = \frac{R.T}{n.F} rH - \frac{R.T}{n.F} pH$$

Primul (n) corespunde lui $H_2 = 2$; iar celălalt (n)corespunde lui $H^+ = 1$. Deci :

$$E_h = \frac{R.T.}{2.F} rH - \frac{R.T}{F} pH$$

Insemnînd cu K raportul R.T/F, relaţia devine:

$$E_h = \frac{K}{2} rH - K.pH$$

K este o constantă ce la $25^0C = 0,058$, de unde :

$$E_h = \frac{0,058}{2} rH - 0,058\ pH\ (25^0C)$$

de unde :

$$E_h = 0,029\ rH - 0,058\ pH$$

Această relaţie stabileşte legătura între t.e.m. (E_h), rH şi pH. Se observă că t.e.m. de oxidoreducere depinde atît de pH-ul cît şi de rH-ul mediului în care se petrece reacţia. Din această formulă se poate afla rH-ul dacă cunoaştem celelalte două :

$$rH = \frac{E_h + 0,058\ pH}{0,029}$$

Cînd pH-ul = 0, relaţia devine :

$$rH = \frac{E_h}{0,029}$$

Deci pentru a avea date comparative între potenţialele de oxidoreducere ale diverselor sisteme, se lucrează la acelaşi pH şi astfel potenţialele se exprimă în E_h (volţi); sau se lucrează la pH-uri diferite şi se exprimă în rH, la valoarea căruia se ia în seamă la calcul, pH-ul sistemului.

Cînd presiunea hidrogenului este egală cu cea a oxigenului a sistemului oxidoreductor, rH-ul are o valoare de 28,3 (punct de neutralitate). Valoarea pH-ului corespunzător pentru $E_h = 0$, este dată de :

$$pH = \frac{28,3.0,029}{0,058} = 13,67$$

în timp ce valoarea lui E_h pentru cazul cînd pH-ul = 0, este egală cu :

$$E_h = 28,3.0,028 = 0,792$$

Relaţia stabilită între activitatea hidrogenului gazos evaluată electric prin rH, activitatea ionilor de hidrogen evaluată prin pH şi activitatea electronilor evaluată prin E_h, ne arată că pentru un mediu cu un pH anumit, se poate caracteriza în mod indefinit prin rH-ul şi E_h-ul acestui mediu, aptitudinea lui de a se oxida şi de a se reduce. De ex.la un pH = 7, avem :

E_h	rH
+ 0,200 v.	20,6
+ 0,100 v.	17,3
0,000 v.	14,0
- 0,100 v.	10,6
- 0,200 v.	7,3

Astfel mediul cu E_h = - 0,100 poate trimite electroni (deci reduce) în mediul E_h = 0 sau poate să primească (deci se oxidează) din mediul cu potenţialul E_h = - 0,200, ceea ce înseamnă că mediul cu rH-ul mai mic poate reduce mediul cu rH-ul mai mare.

Deci, consideraţiunile de mai sus ne permit o evaluare numerică a fenomenelor ce caracterizează sistemul redox. Deoarece se poate defini o soluţie apoasă a unui amestec oxidant şi reducător, prin echilibrul care există între ionii de hidrogen şi moleculele de hidrogen, se poate caracteriza la un anumit pH, raportul dintre cantităţile compusului redus şi produsul oxidat prin rH care exprimă astfel presiunea hidrogenului ce există în soluţie în stare moleculară şi care marchează intensitatea puterii de reducere a lichidului. Astfel, luînd ca variabil pH-ul, se poate trage o scară a puterilor reducătorului a amestecului redox ce pleacă dela rH = 0 şi care reprezintă sistemul cel mai reductor ce se poate imagina şi care este format de o electrodă normală de hidrogen şi o soluţie infinit de puţin reducătoare, cu un pH = 0 şi fără hidrogen. Dacă opunem o astfel de soluţie primei, vom găsi o t.e.m.de cca.800 mv.,de unde ecuaţiile anterioare ne permit de a calcula că rH-ul = 28,3. Deci în sistemele în care predomină puterea reducătoare, scara rH-ului se întinde între 0 şi 28,3.

Să vedem cum variază t.e.m. în sistemele în

care domină puterea oxidantă. Pentru aceasta trebuie să analizăm cum se petrec lucrurile cu o electrodă de oxigen. O astfel de electrodă se pregăteşte foarte uşor cufundînd un electrod de platină într-un vas cu apă în care se dizolvă puţin electrolit pentru a face apa mai conductoare. Se alimentează apoi electroda cu un curent de oxigen pur. Ionizarea făcîndu-se asupra unui atom bivalent, se va pune în joc un dublet de electroni:

$$O_2 + 4e^- \rightleftarrows 4O^-$$

Acest sistem se defineşte prin : $- \log O_2 = rO$

Dacă se raportează t.e.m. a pilei de oxigen la cea a pilei etalon de hidrogen, se ajunge la formula :

$$E_h = 1{,}23 - 2{,}3 \frac{R.T}{F} pH - 2{,}3 \frac{R.T}{4.F} rO$$

In această formulă 1,23 v.reprezintă diferenţa de potenţial dintre pila de hidrogen şi cea de oxigen de un acelaşi pH şi sub o presiune de o atmosferă.

Egalînd această ecuaţie cu ecuaţia :

$$E_h = \frac{R.T}{2.F} \log \frac{2H^+}{H_2} = 2{,}3 \frac{R.T}{2.F} rH - 2{,}3 \frac{R.T}{F} pH = 0{,}029\, rH - 0{,}058\, pH$$

De unde se obţine :

$$rH + \frac{rO}{2} = 42{,}6$$

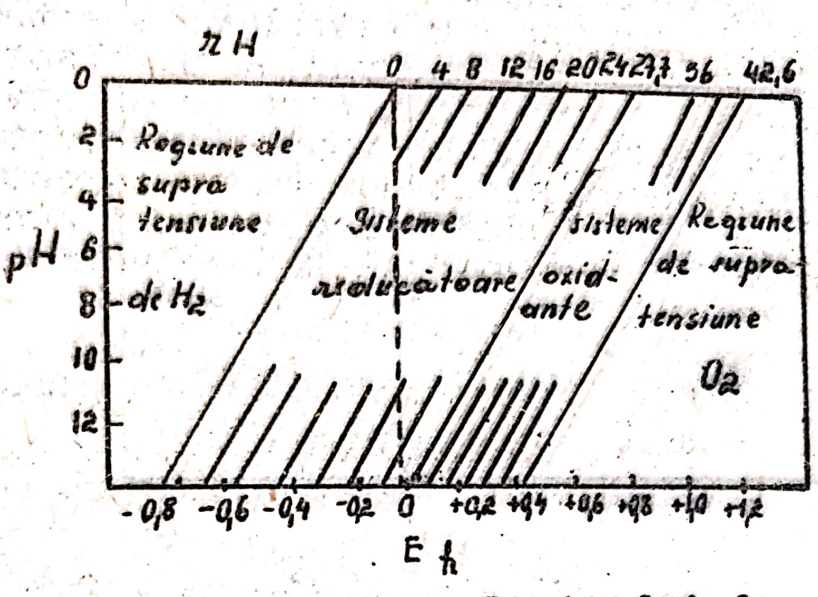
Deci rO merge dela 0 (sistem maximum de oxidant reslizat de o pilă normală de oxigen), pînă la rO = 28,3, sistem infinit de puţin oxidant şi în care presiunea oxigenului este jumătate din cea a hidrogenului.

Astfel se poate racorda scara rO-ului la acea a rH-ului.

Tot aşa după cum notaţia de pH se întrebuinţează pentru sistemele ce conţin fie ioni de H^+, fie ioni de OH^-, tot aşa se utilizează numai notaţia de rH pentru amîndouă scările, soluţia cu rH=0 corespunzînd la un rH=42,6 şi echivalenţa de oxido-reducere fiind aşezată la rH = 28,3.

Ecuaţia : $E_h = 0{,}029\, rH - 0{,}058\, pH$ ne mai arată că dacă se menţine rH-ul constant, E_h este o funcţie rectilinie a pH-ului. Cînd variem rH-ul, dreapta $E_h = f(rH.pH)$ suferă o translaţie care o

aduce din ce în ce spre regiunile cu potenţiale pozitive pe măsură ce rH-ul creşte. Pe fiecare din aceste trepte, tensiunea de reducere a hidrogenului păstrează aceeaşi valoare. Cînd această tensiune este superioară unei atmosfere, hidrogenul se degajă; sîntem în regiunea de supratensiune de hidrogen.



Tot aşa, potenţialul normal a electrodei de oxigen este un grafic determinat de o dreaptă paralelă cu dreapta ce reprezintă electroda de hidrogen. Cînd facem să varieze progresiv rO dela 0 la 28,3, se obţine un fascicol de paralele ce merg să se întîlnească cu primul. Deci dacă se notează pe abscise potenţialele E_h de oxidoreducere şi pe ordonate pH-urile, rH-urile sînt arătate de oblicele graficului de mai sus.

Determinarea practică a rH-ului se efectuează astfel :

Se realizează o pilă completă dintr_o pilă de oxidoreducere şi o electrodă de hidrogen. Potenţialul (Em) al unei astfel de pile, va fi suma algebrică a potenţialelor celor două pile, adică $Em = E_h + E$.

Dacă luăm ca 0 de potenţial, acela al electrodului normal de hidrogen pentru care pH =0 şi rH = 0, se poate ca şi în determinările de pH, să înlocuim această electrodă cu o electrodă de referinţă de calomel (Ec). Deci $E_h = Em - Ec$

Reamintind că potenţialul de oxidoreducere este dat de formula :

$$rH = \frac{E_h + 0,058\ pH}{0,029}$$

De unde înlocuind pe E_h prin formula de mai sus, căpătăm :

$$rH = \frac{Em - Ec + 0,058\ pH}{0,029}$$

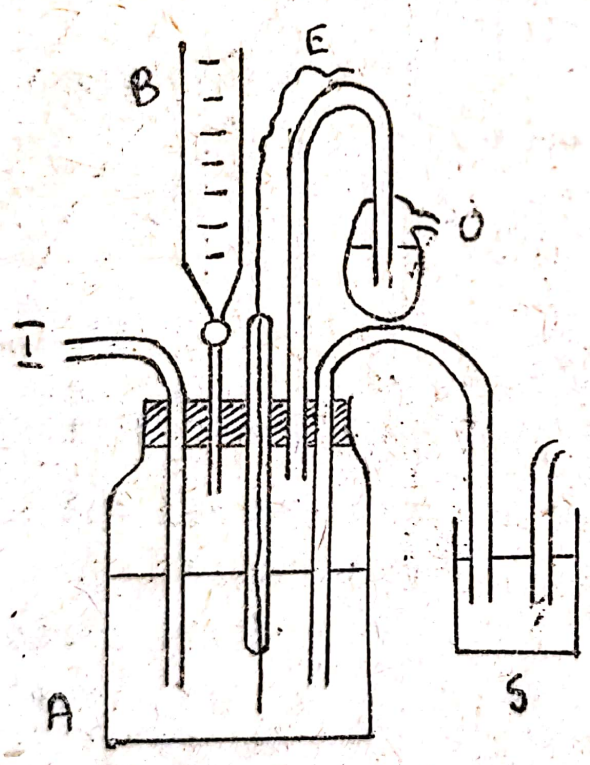
Trebuie deci să facem o determinare în prealabil a pH-ului.

Se pot face determinări potenţiometrice ale raportului dintre cantităţile compusului redus şi a celui oxidat cu ajutorul unui fir de platină sau de aur ce este cufundat în lichidul de cercetat, care, la rîndul lui, este pus în legătură cu o pilă de calomel, prin intermediul unei soluţii saturate de ClK.

Dispozitivul de măsurare este acelaşi ca şi pentru determinarea electrometrică a pH-ului. Diferenţa constă numai în utilizarea pilei de oxidoreducere la care se cer cîteva condiţii :

- electrodul de platină este de platină curată;
- se trece prin pilă un curent de azot pur pentru a evita contactul dintre soluţie şi aer.

Dăm mai jos o schemă al unei electrode de oxidoreducere uşoară de întrebuinţat :

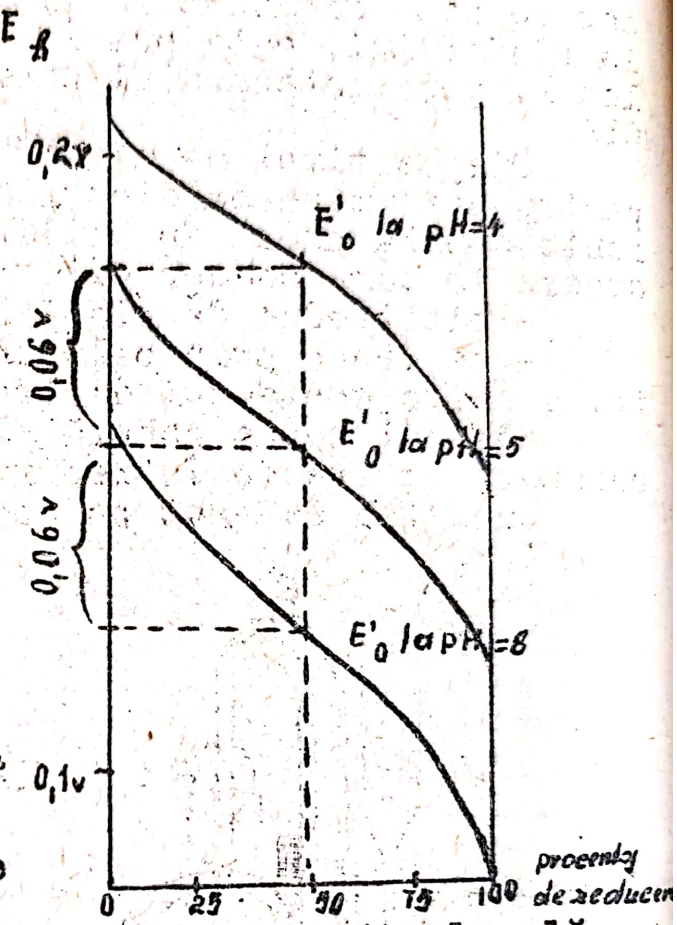


Curentul de azot pur care intră prin I şi iese prin O, permite, cel mai adesea prin barbotarea sa, de a suprima un agitator mecanic. In E este un electrod de platină sau aur. Substanţa oxidată ce trebuie redusă se introduce în vasul A ce conţine cca. 5o cmc dintr-un tampon ales convenabil cu acelaşi pH (uzual este un amestec de fosfaţi şi boraţi). Vasul A este pus în legătură electrolitică prin intermediul unui sifon S cu ClK saturată, cu un electrod de calomel. Tot în vasul A care este astupat ermetic printr-un dop de cauciuc, mai pătrunde o biuretă B în care se găseşte substanţa oxidată ce trebuie redusă şi care astfel se găseşte în contact cu azotul pur.

Determinarea se face măsurînd t.e.m. a elementului reversibil alcătuit din electroda de calomel

şi electroda formată cu ajutorul soluţiei sistemului redox respectiv.

Ca tehnică propriu zisă, se procedează astfel: se varsă la intervale regulate, cantităţi egale de substanţa reducătoare şi se măsoară t.e.m. după fiecare adăugare de reactiv. Se trasează apoi curba potenţialelor E_h ale electrodului inatacabil cufundat în soluţie, în funcţie de procentajul substanţei reduse adăugate : se obţine o curbă în formă unui S italic, a cărui punct de inflexiune (E'_0) corespunde amestecului de părţi egale a formei oxidate şi a celei reduse. In apropierea acestui punct, variaţii importante a raportului (Red) / (Ox), se traduc prin variaţii minime de potenţial. Sistemul este astfel tamponat şi faţă de oxidanţi şi faţă de reducători. Graficele alăturate reprezintă valorile lui E_h în funcţie de raportul (Red) / (Ox) la pH-ul diferit, a căror puncte E'_0 sînt distanţate cu valoarea 2,3 R.T log (H^+), ceea ce face la 18°C : 0,058 pH.



Pe scurt, pentru determinarea electrometrică a rH-ului avem nevoie de : un pH-metru, un electrod de platină şi un dispozitiv uşor de imaginat pentru ca măsurarea t.e.m. a sistemului oxidoreductor să fie efectuată sub gaz inert (azot).

- Se măsoară pH-ul cu un electrod de măsură oarecare;
- Se înlocuieşte electrodul de platină cu un electrod de hidrogen;
- Facem să treacă azot prin lichid, bulă cu bulă şi inversăm conexiunile electrice;
- Măsurăm t.e.m.ca pentru o lectură de pH;

- corijăm în funcţie de temperatură;
- aplicăm formula pentru aflarea rH-ului.

Prezentăm mai jos un tabel cu potenţialele şi rH-urile respective a unor substanţe organice mai frecvent întîlnite :

	E_h	rH
Electrod de oxigen	+0,810	41
o - quinone pyrokatehol	+0,430	28,8
Adrenalina	+0,390	27,4
Cytochrom	+0,262	23
Hemoglobină -methemoglobină	+0,152	19
Acid ascorbic	+0,140	18
Cistină - cisteină	+0,080	16,7
Glutation	+0,060	16
Albastru de metilen	+0,011	14
Sist.succinic-fumaric	+0,000	13,7
Ac.dialuric-aloxane	-0,050	12,6
Ferment galben	-0,060	11,9
Sist.lactic-pyruvic	-0,160	8,4
Sist.malic-oxalacetic	-0,170	8,1
Lactoflavina	-0,185	8
Sist.alcool-acetaldehidă	-0,190	8
Glucoza	-0,200	7
Codehidraza I	-0,270	4,5
Sist.xantina -acid uric	-0,280	4,2
Sist.hipoxantina-xantina	-0,400	0,13
Electrod de hidrogen	-0,430	0,0

Scanned with OKEN Scanner

EFECTELE CURENTULUI ELECTRIC

Trecerea curentului printr-un conductor se însoţeşte de apariţia unor efecte care depind de felul curentului şi de natura conductorului.

In mare, aceste efecte sînt :

- efectul caloric;
- efectul chimic;
- efectul magnetic;
- efectul biologic.

Le vom studia pe rînd.

Efectul caloric

Este un efect caracteristic conductorilor metalici (ordinul I) şi apare pentru orice fel de curent. El constă în producerea de căldură dintr-un conductor ce este străbătut de un curent electric.

Explicaţia fenomenului ar fi următoarea : trecerea curentului electric printr-un conductor metalic se efectuează prin mişcarea electronilor liberi. Aceşti electroni prin mişcarea lor produc energie, deci căldură. Căldura mai apare şi datorită faptului că atomii mişcîndu-se vibrează şi din vibraţii naşte tot căldura. Incălzirea conductorului datorită curentului electric poartă numele de efect Joule.

Prin trecerea curentului electric se obţine un lucru mecanic (A) exprimat în joule ce este egal cu

$$A = R.i^2.t$$

Din legea conservării energiei rezultă că se produce căldură prin transformarea integrală a lucrului mecanic. Aplicînd principiul echivalenţei, putem transforma lucrul mecanic (A) într-o cantitate de căldură (Q) :

$$Q = \frac{A}{J}$$

J = echivalentul mecanic al caloriei (4,18 j).

Inlocuind pe (A) din formula primă, obţinem :

$$Q = \frac{R.i^2.t}{4,18} = 0,24\ R.i^2.t \text{ calorii mici} = 0,24\ \text{Uit}$$

Cu ajutorul acestei formule se află cantitatea de căldură (Q) produsă de un curent electric cu intensitatea (i) într-un conductor cu rezistenţa R în-

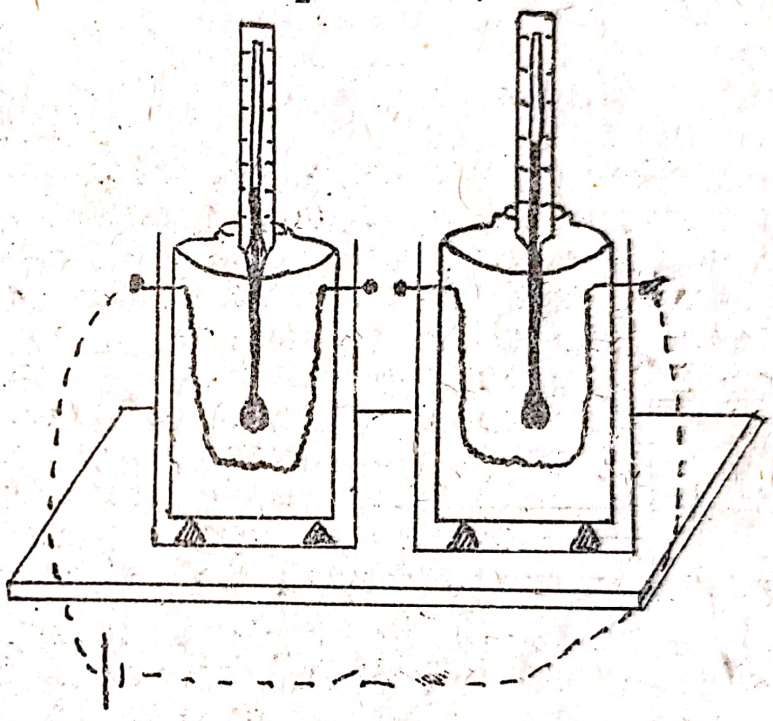
BIBLIOTECA CENTRALĂ REGIONALĂ IAȘI

tr-un timp dat (t) exprimat în secunde.

Din această formulă se scoate legea lui Joule-Lenz : "căldura degajată într-un conductor prin trecerea curentului electric, este direct proporţională cu rezistenţa conductorului, cu pătratul intensităţii, cu timpul de trecere a curentului şi cu o constantă K.

Legea se poate demonstra practic foarte uşor cu ajutorul următorului dispozitiv :

Pe o placă de lemn sau ebonită se fixează două perechi de borne. Intre fiecare pereche, se montează cîte un fir electric, ambele de aceeaşi lungime şi secţiune dar de metale diferite. Firele de rezistenţă se cufundă în nişte calorimetre în care se găseşte cîte un termometru sensibil.



Lăsînd să treacă un curent electric prin fiecare fir de rezistenţă, se constată ce căldură se degajă.

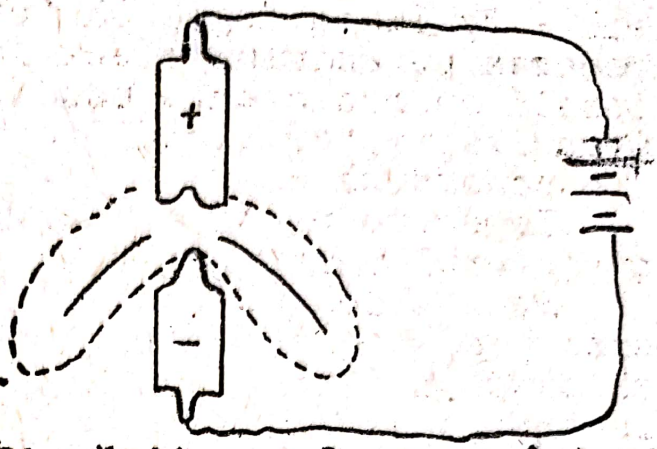
Aplicaţii.

1) Arcul electric numit şi voltaic este format de obicei din doi electrozi de cărbune de retortă şi dintr-un mecanism de ceasornic ce reglează automat distanţa dintre aceştia pe măsură ce se consumă. In felul acesta distanţa rămîne invariabilă.

Pentru a pune în funcţiune un arc electric, electrozii trebuiesc să fie mai întîi uniţi (rezistenţa cea mai mică). Totuşi la locul de contact fiind o rezistenţă enormă, se produce efect caloric, apare o scînteie, după care electrozii se pot îndepărta căci aerul ionizîndu-se devine bun conducător de electricitate. Se stabileşte astfel între electrozi trecerea curentului electric sub forma unui arc luminos. In timpul funcţionării, vîrful cărbunelui dela polul pozitiv se adînceşte în formă de crater şi emite căldură (cca 3600°), iar polul negativ

ce ascute şi emite căldură (cca.3000°).

Intensitatea luminoasă care apare datorită căldurii este maximă pentru un unghi de 45° la cărbunii aşezaţi verticali. Cînd vrem să luminăm în jos, se dispune polul pozitiv deasupra, iar cînd vrem să luminăm în sus, cărbunele pozitiv va fi aşezat dedesubt.

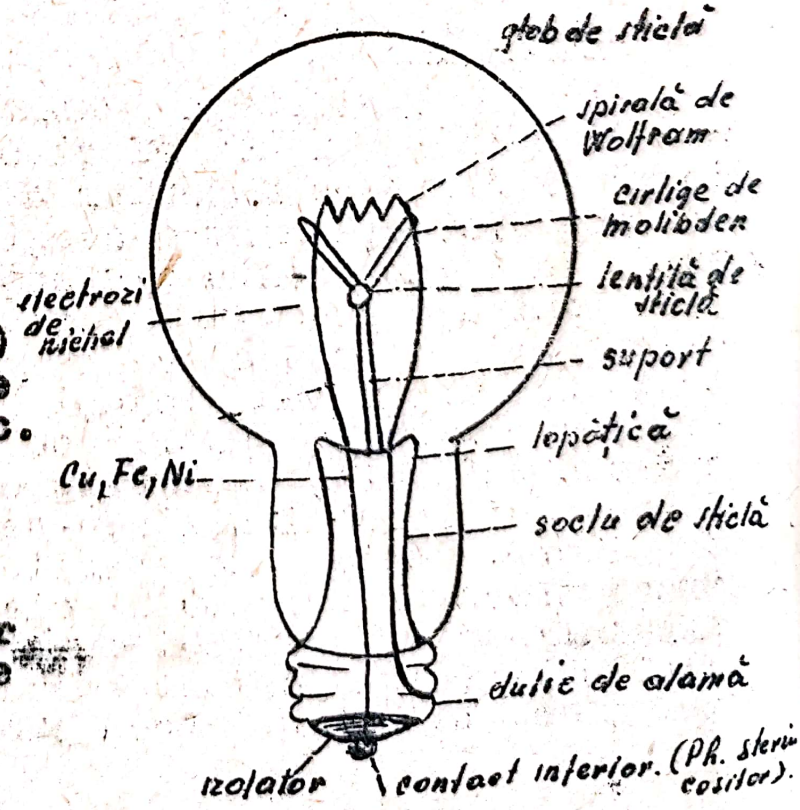


Dacă catodul ar fi răcit, arcul nu se întreţine, pe cînd dacă se răceşte anodul, arcul continuă să funcţioneze. Fenomenul se poate proba prin următoarea experienţă : se obţine arcul electric dacă avem o placă de alamă ca anod şi o baghetă de cărbune drept catod. Dacă inversăm polii, arcul nu se întreţine căci placa fiind mare, se răceşte uşor. Tot aşa se poate întreţine un arc între un cărbune şi un lichid, dacă este cărbunele catod.

Arcul a fost adaptat pentru luminat pentru prima dată în Rusia, la Petersburg în 1845.

2) Becul electric este format dintr-un fir conductor (Wolfram) cu mare rezistenţă. Firul se închide într-un balon de sticlă, ce are în el un gaz inert (azot, argon, neon), sau vid, căci altfel s-ar arde prin oxidare.

Balonul se închide cu un dop izolator ce se montează într-o montură metalică (dulie) la care vin capetele circuitului electric. Firul conductor din balon, la un capăt este în contact cu butonul de metal dela baza lămpii, iar cu celălalt capăt se fixează de dulie.



Firul se încălzeşte la o temperatură relativ joasă (1600°), aşa că în fascicolul emis se găsesc puţine radiaţii luminoase, aşa că de fapt becul electric este mai mult o sursă de căldură decît de lumină.

3) Radiatorul de raze infraroşii este format dintr-un fir metalic neizolat, înfăşurat în formă de spirală pe un suport izolator (cuarţ topit, steatită, etc.). Pe o parte se fixează un reflector sferic sau parabolic care condenseză razele într-un mănunchi, mărind astfel intensitatea calorică. Temperatura se ridică la 1000°. Se capătă raze infraroşii şi lumină vizibilă, aceasta din urmă în proporţie mică şi care se elimină printr-un filtru de marmoritâ.

4) Lampa de cuarţ pentru raze ultraviolete este lampa în care ia naştere un arc luminos între doi electrozi metalici, adesea de mercur.

Principiul funcţionării unei astfel de lămpi este următorul : arcul electric ce se produce, degajă o mare cantitate de căldură ce ionizează gazul din lampă. Cum în lampă există mercur, acesta se volatilizează, ori o descărcare electrică în vapori de mercur, este bogată în raze u.v. De aceea o asemenea lampă serveşte ca generator de astfel de raze. Se întrebuinţează cuarţul care nu absoarbe aceste radiaţii.

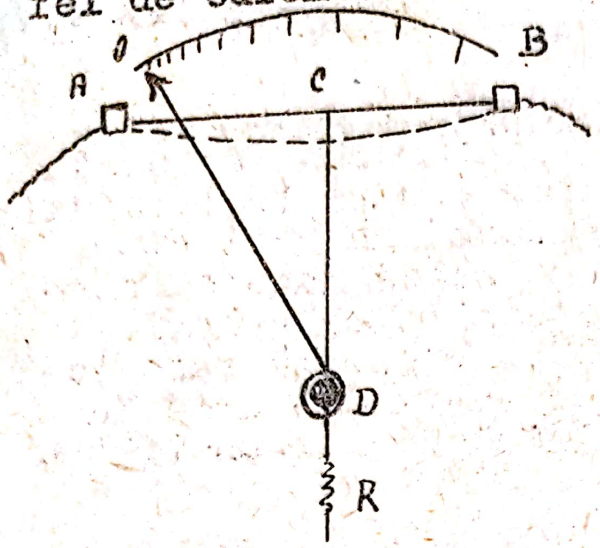
5) Aparatele de măsură termice se bazează pe dilatarea unui fir conductor sub acţiunea căldurii ce se degajă prin trecerea unui curent electric.

Ampermetrul termic este format dintr-un fir (AB) prin care trece cu curentul de măsurat. Acest fir (aliaj de platină şi argint) este tras dela mijloc de firul CD care trece peste o rotiţă ce are un capăt legat de resortul R. Cînd trece curentul, firul AB se încălzeşte şi se dilată, firul CD este atras de resortul R căci rezistenţa firului AB slăbeşte din cauza dilatării şi învîrteşte puţin rotiţa, care la rîndul ei, mişcă indicatorul.

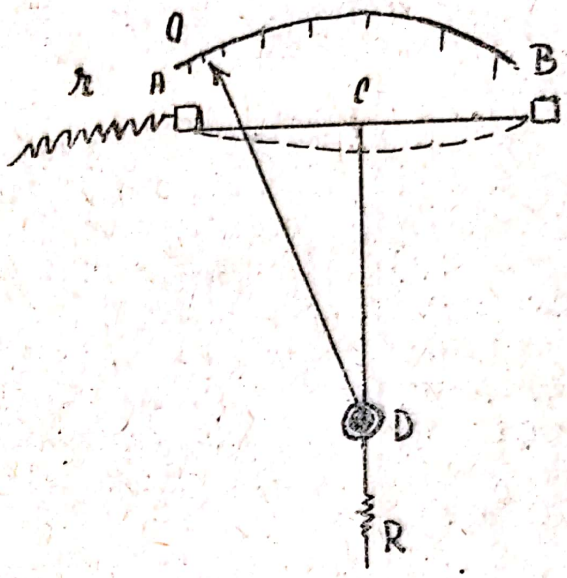
Voltmetrul termic nu se deosebeşte de precedentul decît prin faptul că aci curentul, înainte de a intra prin firul AB, are dispusă o mare rezistenţă (r) montată în serie.

Aceste aparate au avantagii imense : sînt in-

sensibile cîmpului magnetic ambiant, au o selfinducţie foarte slabă şi pot servi la măsurarea ori cărui fel de curent.



ampermetrul termic



voltmetrul termic

Are însă şi cîteva dezavantagii :

- prezintă o alterare în timp a structurii moleculare a firului dilatabil, în urma încălzirilor şi răcirilor sale succesive;
- indicaţia lui zero este în funcţie de temperatura mediului ambiant;
- absoarbe o cantitate mare de energie;
- dilatarea este proporţională cu căldura degajată, care la rîndul ei este proporţională cu pătratul intensităţii. De aci se deduce că fenomenul observat depinde de pătratul mărimii de măsurat, gradaţiile vecine lui zero sînt foarte strînse, aparatul neputînd servi practic decît pentru valori de curent superioare lui 1/3 din intensitatea maximă pe care o poate măsura.

Consideraţiuni biologice

Pe lîngă aplicaţiile radiatorului de raze i.r. şi u.v. care vor face studiul unui paragraf mai detailat, citãm următoarele dispozitive folosite în medicină :

1) Galvanocauterele. Sînt foarte variate ca formă. In principiu sînt alcătuite dintr-un fir de platină ce este adus la incandescenţă cu ajutorul curentului electric. (Să nu se confunde cu termocauterele ce sînt aduse la incandescenţă cu ajutorul

căldurii unei flăcări de gaz şi a unei pompe de aer).

Electrocauterele se aplică la cauterizarea unor suprafeţe mici de tegumente sau la secţiuni fără hemoragii (căci sîngele coagulează imediat din cauza căldurii). Aceste aparate au o rezistenţă electrică foarte mică (cîteva zecimi de ohmi). Curentul trebue să aibă o intensitate cuprinsă între 6-30 A şi un voltaj cuprins între 2-6 v.

2) Ansa galvanică este formată tot dintr-un fir de platină sau de fier cu un diametru de cca. 1/2 mm. Capetele firului sînt fixate la o piesă mobilă ce are un suport. Se înconjoară tumoara pediculată ce voim s-o secţionăm cu firul aparatului, se dă drumul la curent provocîndu-se incandescenţa firului şi trăgînd de piesa mobilă, este antrenat şi firul care secţionează astfel pedicului tumorii.

Vom studia mai jos două efecte care se bazează pe acţiunea căldurii şi anume : efectul termoelectric şi efectul termoelectronic.

Efectul termoelectric

Este un efect opus efectului caloric al curentului electric, şi constă în producerea curentului electric sub acţiunea căldurii.

Pentru a se obţine acest efect este nevoie de două metale diferite sudate la unul din capete. Capetele libere se pun în legătură cu un galvanometru. Încălzind sudura, acul galvanometrului deviază, deci o parte din energia calorică s-a transformat în energie electrică.

Explicarea fenomenului este foarte simplă: cele două metale se vor încălzi inegal şi deci vor avea şi agitaţii moleculare şi electronice diferite. Mişcarea dezordonată a electronilor metalici se transformă într-o mişcare ordonată de ansamblu căci ei se vor mişca dela metalul mai încălzit (unde mişcarea este mai vie) la metalul mai puţin încălzit (cu mişcare mai înceată). Ori tocmai mişcarea electronilor într-un singur sens alcătuieşte curentul electric.

Sistemul constituit din două metale diferite sudate la un capăt constituie ceea ce se numeşte un element sau cuplu termoelectric. Randamentul lui este foarte redus : abia 2% din energia calorică se

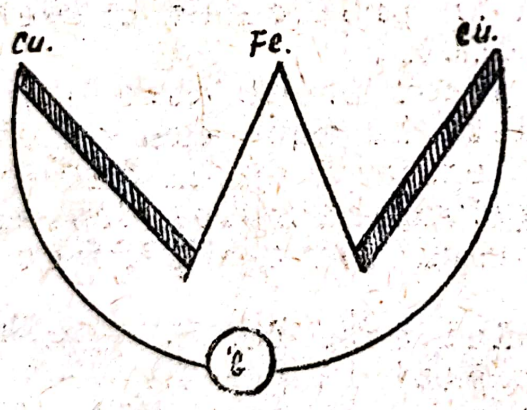
transformă în energie electrică. Asocierea de diferite aliaje ca : Ag,Cu şi Ni ca pol pozitiv şi Zn şi Sb ca pol negativ, pot da curenţi cu o intensitate pînă la 1,5 A şi un voltaj pînă la 2 v.

Pentru diferenţa de 1° :

cuplul bismut-antimoniu dă o tensiune de o,oooll v.
" fier-constantan " " " " o,ooooó v.
" platină-platinradium" " " o,ooool v.

Dacă asociem două cupluri termoelectrice legînd între ei polii de acelaşi fel şi dacă încălzim exact la mijloc sau la fel ambele suduri, acul galvanometrului pus în circuit nu va oscila căci curentul produs de un cuplu, întîlneşte în drumul său curentul produs de celălalt cuplu. Ambele suduri avînd aceeaşi temperatură, curenţii produşi vor avea aceeaşi t.e.m.şi fiind de sens contrar, se anulează. Dacă încălzim numai o sudură, căpătăm un curent destul de puternic, sistemul fiind foarte sensibil (măsoară temperaturi pînă la o milionime de grad).

Legea metalelor intermediare. Dacă două metale sînt separate de unul sau mai multe metale intermediare dar menţinute la aceeaşi temperatură, t.e.m. este aceeaşi ca şi în cazul în care cele două metale ar fi fost în contact direct şi dacă sudura lor ar fi fost la aceeaşi temperatură. De aci rezultă că este indiferent dacă cele două metale sînt unite direct sau printr-o sudură şi pe de altă parte, că



t.e.m. a unui cuplu oarecare, nu este modificată dacă se introduce în acesta un galvanometru metalic, a cărui părţi sînt la aceeaşi temperatură ca şi extremităţile circuitului legat la bornele instrumentului.

Efect Thomson .Dacă avem un conductor omogen şi-l încălzim la mijloc, vom observa că se încălzeşte mai tare la mijloc şi apoi simetric de ambele părţi din ce în ce mai puţin. Dacă lăsăm să treacă însă, un curent electric prin conductor, repartiţia

căldurii de data aceasta numai rămîne simetrică, ci vom avea de o parte o temperatură mai mare într-o jumătate de conductor, iar în cealaltă jumătate o temperatură mai mică. Deci curentul electric a luat căldura dintr-o regiune ce a transportat-o cedînd-o celeilalte. Acest fenomen de transport al căldurii sub acţiunea curentului electric poartă numele de efect Thomson. El este socotit pozitiv cînd se face în sensul curentului (în cazul metalelor : Cu, Ag, Zn, Sb) şi negativ cînd se face în sens opus (în cazul metalelor : Bi, Fe, Sn, Al, Pt).

Efect Peltier. Dacă se dirijează un curent electric printr-o pilă termoelectrică a cărei suduri (A şi A') sînt la aceeaşi temperatură, la una din ele (de ex. în A) se constată o cădere bruscă de potenţial, iar în A' o variaţie egală, dar de sens contrar. Sudura A suferă în acelaşi timp o transformare a energiei electrice în căldură şi deci se va încălzi; iar sudura A' se va răci dintr-o cauză inversă. Trecerea curentului a determinat deci, o inegalitate de temperatură între suduri şi a creeat o t.e.m. care, după principiul conservării energiei, tinde să diminueze curentul, adică să fie inversă t.e.m. însăşi a curentului. Acest efect ne arată reversibilitatea fenomenelor termoelectrice.

Aplicaţii.

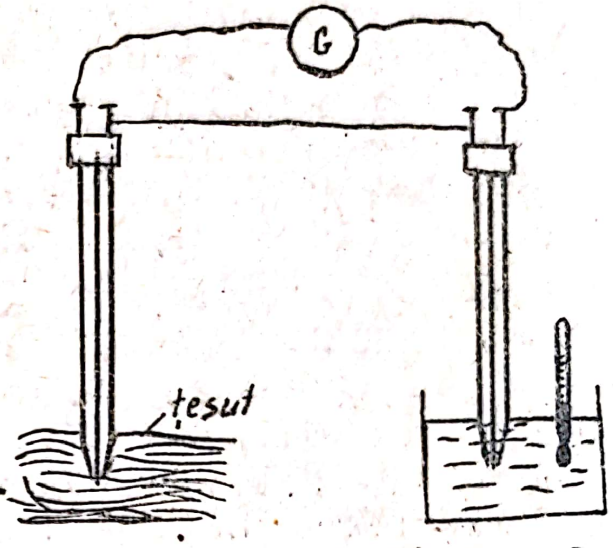
1) Pila termoelectrică. Se leagă mai multe cupluri termoelectrice în serie, adică astfel, ca sudurile de un fel să fie îndreptate spre partea de unde vine căldura, iar celelalte spre partea contrară. Acest fel de a lega mai multe cupluri la un loc formează pila termoelectrică.

2) Aparatele termoelectrice. Curentul trece printr-o rezistenţă fixă care încălzindu-se, încălzeşte la rîndul ei sudura unui cuplu termoelectric aşezată la contactul său; o dispoziţie convenabilă a sudurii reci în raport cu cutia aparatului, asigură menţinerea acestuia la temperatura ambiantă şi curentul termoelectric este măsurat de un instrument cu cadru mobil.

Aceste aparate au un consum mai mic decît cele termice.

Aplicaţii în medicină

In cercetările de fiziologie se întrebuinţează acul termoelectric ce este format dintr-un ac subţire de nichel prevăzut cu un canal longitudinal umplut cu o substanţă izolatoare. De-a-lungul axei canalului este fixat un fir de fier, ce are un capăt sudat la acul de nichel. Pentru a determina temperatura unei regiuni, se introduce un astfel de ac în regiunea de cercetat şi un altul într-un vas cu apă a cărei temperatură o determinăm cu ajutorul unui termometru sensibil. In circuitul dispozitivului se intvoduce un galvanometru. Cînd sudurile celor două acce se găsesc la temperaturi diferite, acul galvanometrului va devia. Se încălzeşte sau se răceşte treptat apa din vas, după deviaţia galvanometrului, pînă cînd acul revine la zero. In acest moment temperatura apei va fi egală cu temperatura regiunii de cercetat.

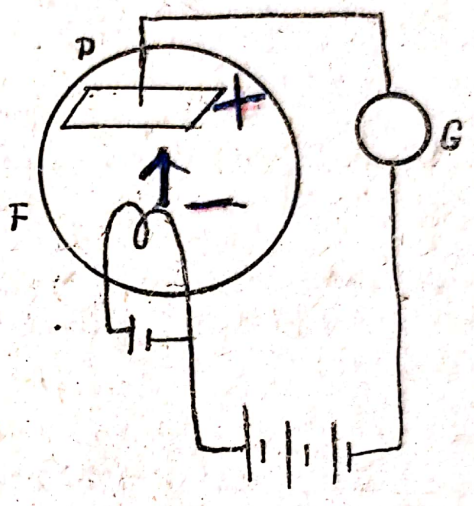


Efectul termoelectronic (termoionic)

In mod obişnuit aerul este izolator. Totuşi este un caz cînd curentul electric poate străbate aerul fără să mai aibe nevoie de un circuit închis. Acest fenomen descoperit de Edison poartă numele de efect termoelectronic. Acesta constă dintr-o emisie de electroni dintr-un conductor încălzit. Iată cum se explică acest fenomen : un conductor are electroni liberi ce se mişcă dezordonat de-a-lungul lui, însă nu pot ieşi afară din conductor, căci imediat ce ies, conductorul se încarcă pozitiv şi îi atrage înapoi. Dacă însă încălzim conductorul, electronii capătă o energie din ce în ce mai mare, se mişcă din ce în ce mai repede, unii la un moment dat reuşind să iasă afară. Totuşi ei nu se pot depărta prea mult din cauza atracţiei electrostatice. Dacă însă în faţa conductorului aducem o placă încărcată pozitiv, electronii pot părăsi conductorul fiind atraşi de placă. Se cre-

easă astfel un curent electric ce poate trece prin aer, dar mai uşor prin vid.

Deci ca să avem emisie de electroni trebue să avem un conductor încărcat negativ şi încălzit şi la o distanţă oarecare de el o placă metalică încărcată pozitiv. In orice alte condiţii nu se capătă curent electric.



Direcţia curentului electric este una şi aceeaşi : dela conductor (filament) la placă.

Filamentul trebuie făcut din substanţe greu fuzibile cum ar fi : carbonul, tungstenul, platina, oxizii alcalino-pământoşi.

Intensitatea curentului depinde de :

- felul materialului din care este făcut catodul (filamentul);
- încălzirea catodului;
- tensiunea aplicată între electrozi;
- distanţa dintre electrozi;
- înaintarea vidului din lampă, căci moleculele din aer absorb electronii şi curentul nu trece, sau trece greu.

Pe acest efect s-a construit lampa-diodă(cu 2 electrozi) care stă la baza radiofoniei.

Efectul chimic(electroliza)

Este un efect caracteristic conductorilor lichizi (soluţiile electrolite- conductorii de ordinul II). Constă în dirijarea ionilor existenţi într-o soluţie de cei doi poli şi transformarea lor la acest nivel în atomi sub acţiunea curentului electric.

Faraday care s-a ocupat cu acest fenomen anumit ion particula materială care conduce curentul electric prin soluţii şi care este încărcată cu electricitate, fie pozitivă şi în acest caz deoarece merge la catod se numeşte cation; fie negativă şi mergînd la anod se numeşte anion.

Fenomenul electrolizei se supune unor legi şi anume :

A. Legi calitative

1. Metalul sau hidrogenul se depune la catod iar radicalul se depune la anod.

2. Atomii nu apar niciodată în masa electrolitului ci numai în vecinătatea polilor.

Prima lege se explică foarte uşor prin forţele de atracţie electrostatică.

A doua lege se explică şi ea foarte uşor :atît timp cît nu circulă curentul electric prin soluţie, ionii se mişcă dezordonat fiind repartizaţi însă uniform. Prin trecerea curentului,la catod care are un surplus de electroni vin cationii care sînt încărcaţi pozitiv, adică cu un minus de electroni. Aci ei primesc atîţia electroni de cîţi au nevoie pentru neutralizare, transformîndu-se astfel în atomi. Lucrurile se petrec invers la anod, unde fiecare anion cedează electronii suplimentari ce-l făceau să aibă o sarcină negativă.

B. Legi cantitative

1. Acţiunea chimică a curentului este aceeaşi în toate punctele circuitului.

2. Greutatea metalului sau a hidrogenului depus la catod este direct proporţională cu intensitatea curentului.

3. Greutatea metalului sau a hidrogenului depus la catod este direct proporţională cu timpul de trecere a curentului.

4. Raportul dintre greutăţile corpurilor simple ce rezultă din electroliză este acelaşi cu

acela sub care corpurile respective se combină.

5. Cantitatea de electricitate depusă la cei doi poli este invers proporţională cu valenţa şi direct proporţională cu greutatea atomică.

Faraday care primul a studiat fenomenul electrolizei, a lăsat să treacă o aceeaşi cantitate de electricitate prin electroliţi diferiţi care conţineau toţi hidrogen şi a văzut că în toate aceste cazuri o aceeaşi cantitate de electricitate făcea să apară o aceeaşi cantitate de hidrogen: ceea ce înseamnă că în electroliza unui atom dintr-o substanţă dată, i se asociază întotdeauna una şi aceeaşi sarcină electrică, pe care o transportă atomul. Atomul împreună cu această sarcină formează ionul.

Tot Faraday a luat mai multe vase, dintre care, primul conţinea apă acidulată, al doilea o sare de argint (metal monovalent), al treilea o sare de cupru (metal bivalent), al patrulea o sare de aur (metal trivalent). Aceeaşi cantitate de electricitate şi anume 96490 coulombi face să depună la catod : în vasul nr.1 1,008 gr hidrogen, în vasul al 2-lea 107,88 gr argint, în vasul al 3-lea 31,78 gr cupru şi în al 4-lea 65,7 gr aur. Inmulţind aceste cantităţi cu valenţa, Faraday a găsit :

1,008 . 1 = 1,008
107,88 . 1 =107,88
31,78 . 2 = 63,56
65,7 . 3 =197,1

Tocmai aceste valori reprezintă greutăţile atomice ale substanţelor respective.

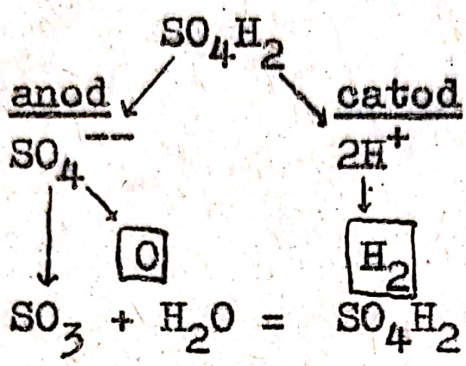
Aceasta înseamnă că în electroliză aceeaşi cantitate de electricitate (96490 coulombi) depune la catod un atom gram, adică un număr de grame egal cu greutatea atomică din metalul electrolitului, dacă metalul este monovalent, o jumătate de atom gram dacă este bivalent, o treime dacă este trivalent şi o pătrime dacă este tetravalent.

Aceste cantităţi de metal depuse prin trecerea unei cantităţi de electricitate de 96490 coulombi se mai numeşte şi echivalent electrochimic. Iată de unde rezultă numărul de 96490 (numărul lui Faraday) : am văzut că 1,118 mgr argint sînt depuse de 1 coulomb. Un echivalent gram, adică 108 gr. argint vor fi depuse de un curent de 108/0,00118 ori mai mare, adică de 96490.-

Reacţiile care se petrec în timpul electrolizei

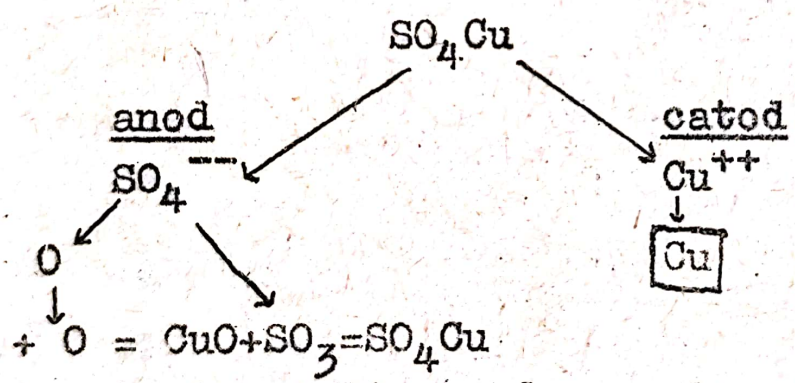
Se pot împărţi în trei mari grupe şi anume :

A. Reacţii cu dizolvantul : (de ex.electroliza unei soluţii de SO_4H_2 cu electrozi inatacabili).



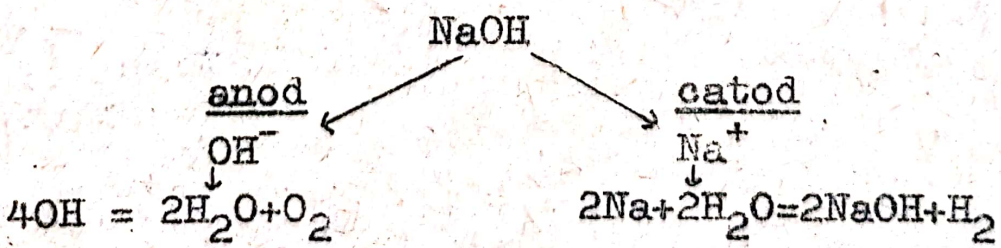
In acest caz deşi acidul se disociază, apa suferă deoarece ea reface la anod acidul sulfuric. Ca urmare vom avea o creştere a concentraţiei soluţiei. Deci în reacţie nu intră apa, aşa cum se credea înainte, decît doar ca regenerator de acid sulfuric.

B. Reacţii cu electrozii : (de ex.electroliza unei soluţii de SO_4Cu şi cu electrozi formaţi tot din plăci de Cu).



Deci cuprul metalic se depune la catod, iar la anod se diluează cuprul pentru a forma SO_4Cu. In acest caz apare un transport de cupru dela anod la catod.

C. Reacţii între radicali:



Urmările electrolizei

Din însăşi fenomenul electrolizei rezultă o serie întreagă de consecinţe cu un interes practic deosebit. Dintre acestea vom indica numai cîteva şi ne vom opri mai detailat asupra fenomenelor cu o aplicaţie mai amplă în medicină:

1. Prin legea întîia a electrolizei se verifică faptul că intensitatea curentului este aceeaşi pe tot lungul circuitului.

2. Se verifică legea întîia a curenţilor derivaţi;

3. Se descoperă prin legea 5-a a electrolizei, structura atomică a materiei.

4. Se poate determina practic intensitatea şi cantitatea de curent, stabilindu-se două noţiuni foarte precise : amperul şi coulombul.

5. Serveşte la descompunerea sărurilor.

6. Serveşte la obţinerea metalelor în stare pură (electrometalurgia).

7. Serveşte la acoperirea electrolitică cu metale direct pe obiecte fabricate sau pe tiparele lor (galvanotehnică).

8. Serveşte la identificarea polilor unei surse de curent continuu : dacă cufundăm reoforii ce sînt puşi în contact cu o sursă de curent continuu într-un vas cu apă în care am pus cîteva picături de fenolftaleină, în jurul polului negativ apare o culoare roz. Explicaţia acestui fenomen este următoarea : în apă se găsesc săruri şi în special NaCl. Sub acţiunea curentului electric, Cl merge la anod, iar Na^+ la catod unde se transformă în sodiu atomic, descompune apa şi apoi combinîndu-se cu grupul OH va da NaOH, adică o bază puternică în prezenţa căreia fenolftaleină virează la roşu. Ca probă că astfel se petrec lucrurile avem faptul că dacă lipseşte sodiul, nu mai apare la catod culoarea roşie.

9. Serveşte la fabricarea acumulatorilor.

Acumulatorii sînt aparate electrice care acumulează energie electrică sub formă de energie chimică (la încărcare), pe care la nevoie o redă din nou sub formă de energie electrică (la descărcare).

Principiul acumulatorilor este dat de următoarea experienţă : să facem electroliza unei ape

acidulate într-un voltametru pînă ce obţinem o cantitate apreciabilă de oxigen şi hidrogen(tensiunea să fie peste 1,50 v.). Indepărtăm sursa care ne-a furnizat energie electrică şi în locul ei, montăm un galvanometru. Acul acestuia va devia. Deci voltametrul apare ca o sursă de curent electric deoarece gazele degajate în eprubetele de colectare au produs modificări chimice pe suprafaţa electrozilor. Aceste modificări se inversează în momentul cînd se întrerupe electroliza şi dau naştere unui curent electric. Durata ca şi intensitatea acestui curent este foarte mică. Dacă înlocuim electrozii de platină cu electrozi de plumb, se produc modificări şi mai intense : curentul ce se obţine este mai intens şi de o durată mai mare. Astfel au apărut acumulatorii cu plăci de plumb. Un astfel de acumulator este format dintr-un vas paralelipipedic de sticlă sau ebonită în care se toarnă o soluţie apoasă de acid sulfuric cu densitatea 1,18 (26 grade Baumé ; 25-30%conc.).In soluţie se cufundă polii elementului care sînt constituiţi din plăci de plumb antimoniat ce prezintă mici orificii, ca fagurii de albine în care se pune substanţa activă şi anume Pb_3O_4(miniu)la polul pozitiv şi PbO (litargă) la polul negativ, amestecate cu diverse substanţe pentru cimentare.

Un acumulator se caracterizează prin capacitatea sa care reprezintă cantitatea de electricitate pe care o poate elibera; ori cantitatea de electricitate obţinută este direct proporţională cu cantitatea de plumb formată la încărcare. De aceea la confecţionarea acumulatorilor se caută să se creeze condiţii care să contribuie la formarea unei cantităţi cît mai mari de bioxid de plumb. Astfel acumulatorul va fi cu atît mai bun (va avea o capacitate mai mare), cu cît va avea mai multă substanţă activă introdusă la electrozi,deci cu cît va fi mai greu.

Capacitatea se exprimă în amperi-oră. De ex. un acumulator de 50 amperi-oră poate furniza timp de 5 ore un curent de 10 amperi, sau într-o oră un curent de 50 amperi, sau în 50 ore un curent de un amper.

Capacitatea este în funcţie şi de descărcare, fiind mai mare în regim lent.

Incărcarea acumulatorului care este propriu zis transformarea energiei electrice în energie chimică, se face punînd în contact polii acumulatorului cu o sursă de curent continuu sau cu un curent alternativ redresat. Se leagă polii de acelaşi nume dela sursă cu polii respectivi ai acumulatorului, căci la încărcare acumulatorul se comportă ca un voltametru.

Incărcarea se face la o tensiune de cel puţin 2,5 v.pentru fiecare element de acumulator. De remarcat faptul că valoarea indicată de fabricant pentru intensitatea curentului de încărcare, reprezintă a zecea parte din capacitatea acumulatorului. De ex. la o capacitate de 10 amperi-oră, trebuie o intensitate de un amper. Insă în practică acumulatorul funcţionează mai bine pentru o intensitate mai mică (1/2 din intensitatea prescrisă.

Sfîrşitul încărcării este indicat de :

- culoarea plăcilor (cele pozitive iau o culoare brună-roşcat iar cele negative, cenuşii);
- degajarea bulelor gazoase la suprafaţa soluţiei, în special la polul negativ;
- densitatea soluţiei care atinge 1,240 şi se determină la cel puţin o oră după întreruperea curentului;
- tensiunea măsurată la bornele fiecărui element.

După terminarea încărcării, acumulatorul se lasă în repaus timp de 8-10 ore şi după aceea se utilizează, căci dacă este pus imediat la lucru se descarcă mai repede.

Descărcarea acumulatorului este operaţia inversă, adică transformarea energiei chimice în energie electrică. Descărcarea trebuie făcută pînă la o anumită limită (pînă cînd tensiunea ajunge la 1,6 v.) căci utilizarea mai îndelungată îl distruge. Totuşi se poate descărca şi pînă la 1,6 v.dacă-l punem imediat la încărcare.

Un acumulator chiar cînd nu lucrează, se descarcă. De aceea odată pe lună trebuie pus oricum la încărcat. Trebuie ca plăcile să fie cufundate complet în soluţia acidă care trebuie să depăşească cu 1 cm nivelul plăcilor. Soluţia trebuie să fie pregătită din substanţe pure şi apă fără clor, căci impurităţile atacă oxizii din materia activă şi-i transformă în compuşi inactivi.

Un acumulator cu plăci de plumb debitează un curent cu o tensiune de cca.2,2 v.de fiecare element. Are un randament de cca.80%, adică poate da cam atît din energia primită la încărcare.

Avantagii :

-t.e.m. scade foarte greu aşa că practic au o tensiune constantă;

-au o t.e,m.destul de mare (2,2 v.).

In schimb au şi cîteva dezavantagii :

- sînt foarte grei;

- au o capacitate specifică de cca.10 waţi-oră pe Kgr.;

- costă destul de mult.

Deaceea s-au construit o serie întreagă de alte sisteme de acumulatori dintre care cei mai folosiţi sînt acumulatorii fero-nichel. Aceştia au placa negativă formată dintr-o lamă de oţel nichelată şi perforată. In fiecare dintre alveole se introduce hidrat de oxid feric (Fe_2O_3). Placa pozitivă este formată dintr-o serie de tuburi de tablă de oţel nichelate şi perforate, menţinute de o sită de oţel nichelat în care se îngrămădeşte hidrat de nichel (NiO_2). Soluţia electrolită este de KOH 20%.

Randamentul este de cca.50%.

Avantagii :

- se pot descărca şi sub o,8 v.fără să se strice, fiind astfel destul de rezistenţi. Au astfel o uşurinţă mult mai mare de întreţinere;

- au o capacitate specifică de 20 waţi-oră/Kg.

Dezavantagii :

- au o tensiune mult mai mică (cca.1,25 v.);

- t.e.m. este mult mai puţin constantă în timpul descărcării de unde rezultă că randamentul lor în energie este mai mic.

lo. Descompunerea electrolitică. Dacă se observă atent fenomenul de elztroliză, se constată că trebuie să se ţie neapărat seama şi de fenomenele ce apar la electrozi şi care tind la operaţia inversă, adică la transformarea energiei chimice în energie electrică. In adevăr, o celulă de electroliză poate fi consideratâ, conform celor arătate la capitolul elementelor, ca o pilă cu o t.e.m.proprie. Această t.e.m. creşte în timpul electrolizei ca ur-

mare a polarizării electrozilor prin depunerea produselor de electroliză. T.e.m. a pilei este de sens contrar curentului exterior întrebuinţat la electroliză şi se va opune trecerii acestuia.

Descompunerea electrolitică va depinde deci de două fenomene contrare ce apar simultan la electrozi. Ea necesită energie electrică, iar fenomenele ce apar la electrozi pun în libertate energie electrică.

Experienţele arată că electroliza unei soluţii oarecare nu este apreciabilă decît în momentul în care tensiunea aplicată la bornele electrozilor depăşeşte o anumită valoare minimă. Vom vedea importanţa acestui fapt în polarografie.

T.e,m.minimă, necesară pentru a putea descompune un electrolit în cantităţi apreciabile, se numeşte tensiune de descompunere electrolitică. Valoarea ei depinde de fenomenele ce se petrec la electrozi şi care se opun transformării energiei electrice în energie chimică. Numai în momentul în care fenomenele de la electrozi sînt depăşite, are loc descompunerea.

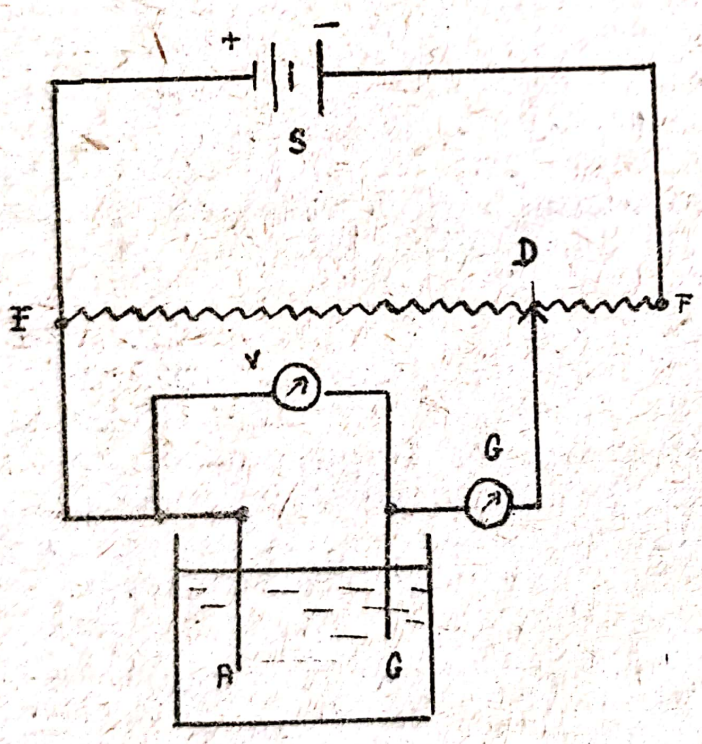
Considerînd celula de electroliză cu cei doi electrozi introduşi în soluţie fără să se aplice nici o t.e.m.exterioară, la contactul dintre electrod şi electrolit, ia naştere o diferenţă de potenţial ca urmare a echilibrului care se stabileşte între tensiunea de disoluţie a metalului şi presiunea osmotică a ionilor din soluţie. Pentru ca descompunerea electrolitică să aibă loc, trebuie să se aplice o t.e.m.exterioară care să acţioneze în acelaşi sens cu presiunea osmotică a ionilor din soluţie şi împotriva tensiunei de disoluţie a metalelor. Pentru ca ionii să se depună pe electrod, va trebui ca acţiunea presiunei osmotice a ionilor din soluţie şi t.e.m. care acţionează între electrod şi electrolit, să fie mai mare ca acţiunea tensiunii de disoluţie a metalului. In acest mod are loc descărcarea produselor de electroliză, deci devine vizibil fenomenul de descompunere electrolitică. Se poate defini prin urmare potenţialul de descărcare al unui ion ca t.e.m. minimă necesară ca să acţioneze între electrod şi electrolit, pentru a continua să depună pe acest electrod, ionul considerat.

Această t.e.m.minimă trebuie să învingă potenţialul static al electrodului respectiv cufundat în soluţia de electroliză.

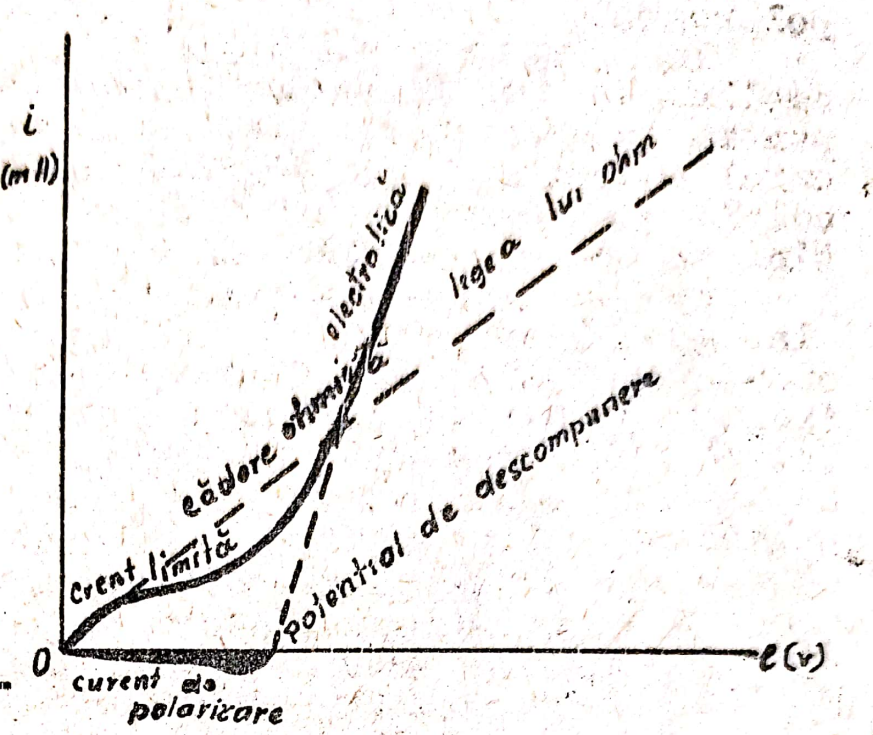
La o descompunere electrolitică are loc simultan descărcarea anionilor şi cationilor. Prin urmare, pentru ca electroliza să aibă loc,trebuie să fie satisfăcute condiţiile de descărcare anodică şi catodică, adică trebuiesc atinse valorile potenţialelor de descărcare ale ambilor ioni. De aci rezultă tensiunea totală de descompunere necesară pentru a produce electroliza, trebuie să fie superioară sau cel puţin egală cu diferenţa potenţialelor de descărcare a anionilor şi cationilor :

$$E_t = e_a - e_c$$

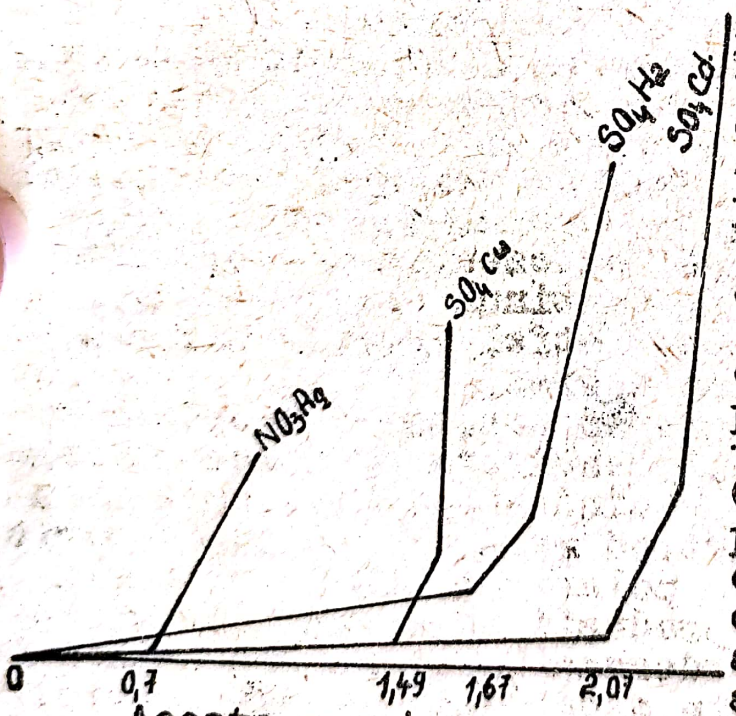
Pentru a determina experimental tensiunea de descompunere, se leagă cei doi electrozi ai celulei de electroliză cu o sursă S de curent continuu, intercalînd în circuit rezistenţa variabilă EF montată în paralel (potenţiometric) şi un ampermetru G legat în serie. Voltmetrul V se montează în paralel la bornele celulei de electroliză. Aşezînd rezistenţa EF la maximum, G şi V indică zero. Se mişcă cursorul D al rezistenţei în aşa fel, încît tensiunea de electroliză să crească treptat, începînd dela zero. Se notează de fiecare dată valorile t.e.m.(e)indicate de V şi cele ale intensităţii (i)citite la G. Mărind puţin cîte puţin t.e.m. aplicată la bornele vasului de electroliză, se constată că intensitatea curentului ce traversează electrolitul creşte foarte încet pînă la o anumită valoare, de la care începe să crească foarte repede pentru variaţii mici ale t.e.m. Se constată în acelaşi timp că această creştere corespunde cu



apariţia la electrozi a produselor de electroliză în cantităţi apreciabile, din care moment începe pe să se formeze pe electrozi, bule gazoase. Construind curba, se obţine o curbă ce are un punct unghiular în punctul în care tensiunea este suficientă pentru a începe electroliza. Acest punct corespunde cu tensiunea de descompunere electrolitică a soluţiei (substanţei) considerate.



In figura alăturată sînt date curbele cîtorva electroliţi în soluţii normale. De ex. se constată, în cazul NO_3Ag, o variaţie foarte mică a intensităţii în raport cu t.e.m. pînă la valoarea de 0,7 v cînd apare punctul unghiular. De aci înainte curba îşi schimbă complet panta şi intensitatea creşte brusc. Curba îşi menţine aspectul şi în celelalte cazuri, cu deosebirea că punctul unghiular apare la alte valori ale tensiunii.



Aceste puncte reprezintă tensiunile minime de descompunere, care se compun din tensiunile de descărcare ale anionului şi cationului. Tensiunile de descărcare, conform expresiei potenţialului de descărcare, au valori cu atît mai mici, cu cît concentraţiile ionilor de descompus sînt mai mari.

Pe principiul tensiunii de descompunere electrolitică se bazează construirea aparatului numit polarograf.

In 1903 prof.Kucera a modificat electrometrul capilar al lui Lippmann într-o catodă picurătoare pentru determinările tensiunei superficiale la mercurul polarizat, iar Heyrovschy a aplicat această celulă cu mercur la studiul electrolizei, dezvoltînd astfel o nouă metodă electrolitică - analitică.

Fenomenele electrochimice ce stau la baza polarografie au putut fi interpretate din momentul cunoaşterii legilor electroliţilor, tensiunii superficiale şi potenţialelor de oxido-reducere. Am văzut că prin trecerea unui curent electric într-o soluţie cu electroliţi, ionii disociaţi iniţiali se deplasează către cei doi poli, după polaritatea pe care o au; ionii negativi-anionii, se vor oxida la anod în timp ce ionii pozitivi-cationii, se vor reduce la catod. Acest fenomen de oxido-reducere, polarizează electrozii, modificîndu-le structura chimică. Pentru a înlătura această polarizare dăunătoare, s-a realizat electrodul cu picătură de mercur, care, prin continua lui reînoire, nu modifică procesele la catod, pol care ne interesează pe noi în metoda realizată de prof.I.Heyrovschy.

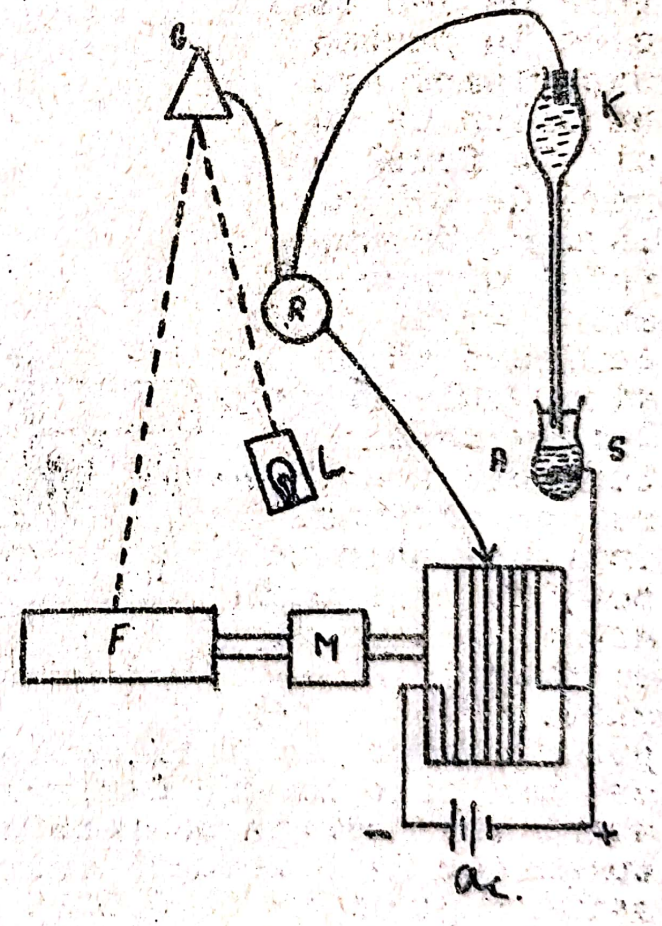
Intr-o soluţie care este debarasată de aer, se măsoară cu un galvanometru foarte sensibil, intensitatea curentului care trece dela mercur ca anod, la catodul picurător. Dacă se măreşte t.e.m. polarizantă, se poate stabili dependenţa intensităţii şi a potenţialului, fapt reprezentat de curba de polarizare. Prin picurarea continuă a mercurului, se amestecă soluţia la catod astfel încît o polarizare de concentraţie nu poate apărea.

Am văzut că polarizarea constă în acoperirea unui electrod cu produşi rezultaţi din electroliză şi că este maximă atunci cînd acoperirea este totală. Deci cu cît un electrod este mai puţin acoperit, cu atît va fi mai puţin polarizat. Una din legile electrolizei arată că produşii care iau naştere la cei doi poli sînt întotdeauna în cantităţi echivalente. Ori dacă unul din electrozi (de ex.catodul) are o suprafaţă de 1/100 faţă de anod, el va fi acoperit numai o sutime, aşa că poate fi socotit practic nepolarizat. Iată deci că dimensionînd just electrozii, se poate face unul polarizat şi altul nu.

Polarizarea folosită în polarografie este numită polarizare fizico-chimică.

Deci în rezumat, polarograful nu este altceva decît un electrometru capilar bazat pe aceleaşi principii, căruia însă i se înlătură fenomenul de polarizare la unul din poli (la catodul picurător).

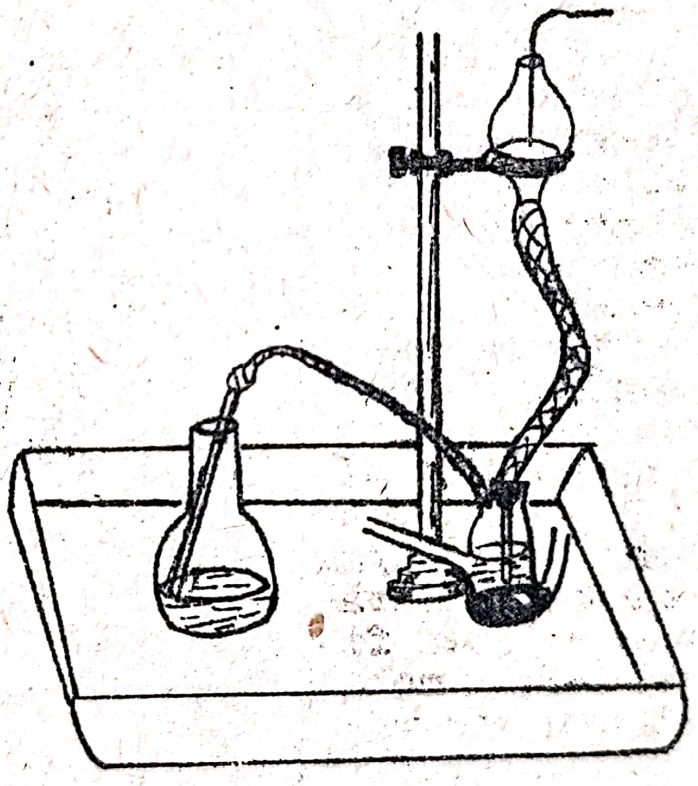
Polarograful se compune dintr-un tambur potenţiometric (P), realizat prin bobinarea pe un suport izolant a 19 spire dintr-o sîrmă de crom-nichel, căreia i se aduce o tensiune de 2-4 v. furnizată de acumulatorul Ac. De capătul anodic al acumulatorului, se leagă anoda (A) a vasului electrolitic constituit dintr-un strat de Hg. cu suprafaţa mare (0,25 cm^2 - 10 cm^2), peste care se toarnă sol. de cercetat. Un contact mobil de platină-iridium (C), care poate aluneca de-a lungul sîrmei potenţiometrice, culege tensiunile negative de pe acesta şi le aduce prin galvanometrul (G) la catodul picurător (K) care practic este format din picăturile mici de mercur ce cad rar şi regulat într-un capilar de sticlă. Ca piesă separată avem un galvanometru cu cadru mobil ce trebuie să aibă o sensibilitate de ordinul 10^{-9} A/mm şi care este prevăzut cu o oglindă fixată de cadrul mobil ce reflectă pe tamburul fotografic (F), raza de lumină ce vine dela lampa (L). Atît tamburul potenţiometric cît şi cel fotografic sînt cuplate între ele şi se învîrt cu ajutorul unui motor electric (M) printr-un sistem de angrenaje reducătoare, în aşa fel, încît atunci cînd tamburul potenţiometric a făcut 19 spire complete, celălalt a deplasat în faţa fantei cu



care este prevăzut, 19 cm. de hîrtie sensibilă.

Stiind că dealungul unui conductor potenţialul variază direct proporţional cu lungimea lui, se poate constata că dacă la capetele potenţiometrului există o tensiune de ex. de 3,8 v., între fiecare spiră vor fi 0,2 v. Intrucît lungimea hîrtiei sensibile este de 19 cm., este uşor de observat că fiecare cm. de pe această hîrtie corespunde unei tensiuni de 0,2 v. Acest lucru este foarte important, deoarece pe polarogramă poate fi cunoscută întotdeauna tensiunea la care se petrece un fenomen, măsurînd în cm. distanţa orizontală dintre punctul care arată începutul fenomenului şi începutul polarogramei.

Electrodul picurător trebuie să fie o capilară de sticlă cu pereţii groşi, cu un diametru exterior de cca.0,5 cm. şi cel interior de cca. 0,08 mm. şi cu o lungime totală de 7-8 cm., care la partea superioară are un balon de sticlă în formă de pară de 6-7 cm. lăţime. Se umple totul cu mercur, avînd grije ca în capilară să nu existe bule de aer. Extremitatea inferioară a capilarei se scufundă într-un pahar ce conţine mercur şi anume, orificiul ei trebuie să se găsească dela cel puţin cîţiva mm. pînă la 1 cm. deasupra mercurului, cel mai bine în mijlocul vasului. Se toarnă apoi în acest vas soluţia de cercetat. Mercurul trebuie să curgă cam la 3 secunde cîte o picătură, picăturile avînd o greutate de 0,0028 gr/sec.



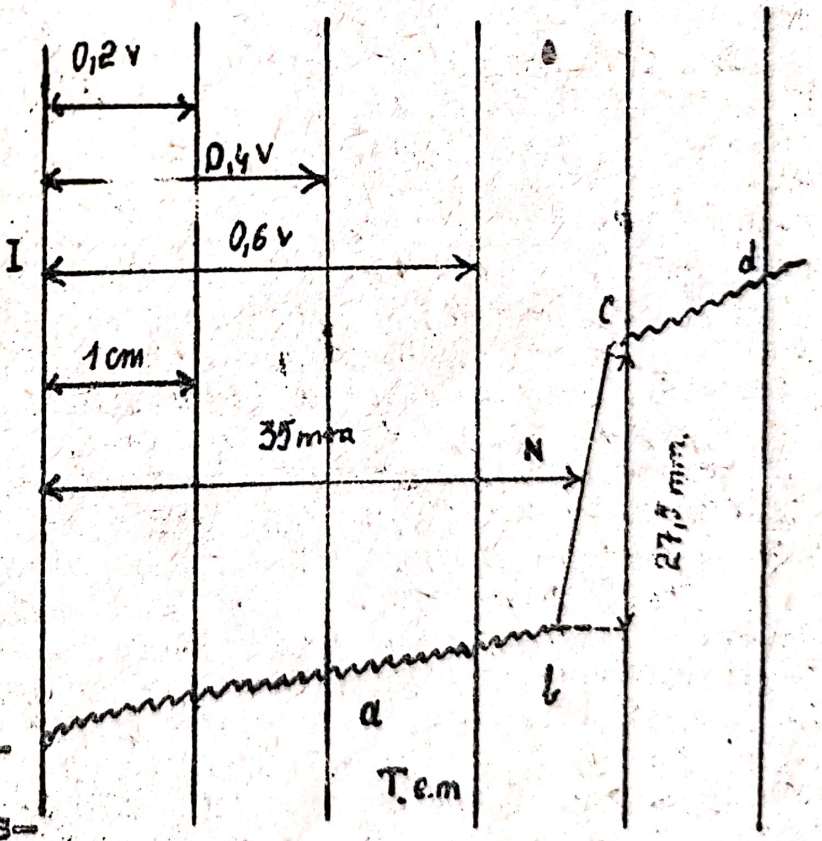
Vasul de electroliză este diferit ca formă după scopul urmărit. Unele determinări se fac în absenţa aerului, altele în prezenţa lui.

Pentru a înţelege curba curent-tensiune, să urmărim mai întîi funcţionarea aparatului:

In vasul de electroliză se introduce sol. de

cercetat. Contactul alunecător (C) se aşează exact pe capătul anodic al potenţiometrului, iar lampa L se aşează astfel, încît raza de lumină să fie proiectată la marginea hîrtiei sensibile. Cu acestea, aparatul, principial, este gata de funcţionare, iar la electrozi tensiunea este nulă. Se pune în mişcare motorul electric şi astfel şi cele două tambure care sunt cuplate cu el.

Din momentul în care a început mişcarea, contactul alunecător (C) se deplasează dealungul potenţiometrului, aducînd între electrozii celulei electrolitice o tensiune ce creşte constant dela 0 la 3,8 v (pentru un acumulator de 3,8 v.). Din cauza acestei tensiuni, pe catod încep să se depună cationii soluţiei de analizat polarizînd-o şi deci prin galvanometru nu trece nici-un curent (totuşi în realitate există un mic curent reziduăl datorit efectului capacitiv pe care-l formează sarcinile electrice din apropierea electrozilor), în acest timp raza de lumină înregistrează pe hîrtia sensibilă o linie dreaptă: porţiunea a-b. Din momentul în care tensiunea adusă la electrozi depăşeste tensiunea de polarizare, curentul începe să treacă cu intensitate din ce în ce mai mare, pînă atinge o limită dependentă de temperatură, concentraţie, etc (porţiunea b-c), dela care, oricît ar creşte tensiunea, intensitatea curentului rămîne constantă: porţiunea c-d.



In sol. de cercetat nu trebuie să fie oxigen căci acesta fiind repede redus, curba sa curent-tensiune se va suprapune peste curba căutată. Deaceea oxigenul se îndepărtează printr-un curent de gaz inactiv.

Explicarea polarogramei: cînd potenţialul creşte dela 0 la o anumită valoare b, curentul care

trece prin sistem este neînsemnat (am văzut că nu chiar nul datorită curentului rezidual a-b). In punctul b este atins potenţialul de descompunere şi curentul creşte brusc formînd pe curbă porţiunea b-c. Prin această valoare b-c este dată înălţimea treptei care este direct proporţională cu concentraţia cationului. Poziţia treptei caracterizează cationul, iar înălţimea ei concentraţia. In punctul c curentul îşi încetează creşterea şi devine aproape constant. Acest curent limită depinde de concentraţia ionilor reductibili căutaţi. In general se stabilesc punctele b şi c ducînd tangente la 35 sau 45 grade în aceste puncte.

Curentul limită se explică astfel: cu cît creşte curentul, cu atît descreşte concentraţia medie a ionilor reductibili la suprafaţa Hg şi creşte valoarea difuziunii între stratul de soluţie vecin Hg şi restul soluţiei. Cînd voltajul este destul de mare, concentraţia ionilor din stratul vecin mercurului se menţine constantă datorită unui echilibru între ionii difuzaţi în spaţiul imediat apropiat picăturii de Hg şi ionii reduşi pe suprafaţa picăturii, deci creşterea voltajului nu mai poate mări curentul. Deaceea curentul limită se numeşte curent de difuziune şi este proporţional cu concentraţia soluţiei. Valoarea acestui curent este dată de ecuaţia lui Ilkovic, şi este proporţională cu puterea 1/6 a timpului de cădere a unei picături, iar acesta, cu mică aproximaţie, este proporţional cu tensiunea superficială la limita mercur-electrolit, care, la rîndul său, este în funcţie de potenţialul mercurului picurător şi de prezenţa în soluţie a substanţelor capilar active.

Socotind că ne interesează numai natura chimică şi concentraţia acestui cation arătat mai sus, putem întrerupe determinarea după ce s-au înregistrat 1-2 cm. din porţiunea c-d.

După developare, curba obţinută cu porţiunea cuprinsă între punctele a şi d a fost numită treaptă polarografică. Experienţa a arătat că singurul punct invariabil al treptei este punctul de inflexiune (N) care se găseşte exact la jumătatea înălţimei treptei şi de aceea la determinările calitative se stabileşte potenţialul care îi corespunde. In polarograma noastră se măsoară distanţa orizontală între începutul curbei (potenţialul 0) şi punctul de inflexiune (N). In exemplul nostru este de 3,5 cm. Acest număr înmulţit cu 0,2 v dă potenţialul de depolarizare al cationului respectiv. In tabelele polarografice se arată

că în condiţiile în care s-a lucrat (soluţia conţine şi KCl n/10), potenţialul aflat indică prezenţa în soluţia a ionului de Cd^{++}.

Pentru determinarea cantitativă se măsoară distanţa verticală între cele două platforme ale treptei şi aceasta se compară cu înălţimea treptei obţinută cu o soluţie etalon de ioni de Cd^{++}, polarografiată în aceleaşi condiţiuni. In cazul nostru, o sol. etalon 10^{-3} de Cd^{++}, dă în aceleaşi condiţii, o treaptă înaltă de 37 mm, iar treapta obţinută cu sol. de analizat este de 27,5 mm. Prin regula de trei simplă, se deduce pentru sol. de analizat o conc. de $7,432.10^{-4}$ n.

Condiţiile electrolizei polarografice sunt:

1) Dacă se lucrează cu un singur electrod polarizabil, rezultatele obţinute se vor referi numai la componenţii care se transformă la acel electrod, nefiind influenţaţi cu nimic de existenţa în sol.de analizat a componenţilor ce se transformă la celălalt electrod.

2) Dacă se poate determina potenţialul la care se produce depolarizarea electrodului, se poate cunoaşte calitatea componentului respectiv al sol. deoarece acest potenţial este în funcţie de natura chimică a substanţei care a produs depolarizarea în condiţiile date,deci se face analiza calitativă.

3) Dacă se poate face ca intensitatea curentului să fie determinată numai de conc.componentului care este analizat, măsurînd intensitatea se poate ddetrmina concentraţia, deci se pot face şi analize cantitative.

Cu alte cuvinte, realizînd condiţiile de mai sus, se face identificarea şi dozarea unora din componenţii soluţiei.

Aceste condiţii se pot realiza astfel:

1) Cu un electrod mic şi unul mare pentru a observa fenomenul de polarizare şi depolarizare pe care le produc o parte din componenţii sol.care se transformă de ex. la catod.

2) Cu tensiune variabilă ce creşte sau descreşte uniform pentru a putea localiza pilarizările chimice şi fizice ce se petrec la electrodul polarizabil.

3) La temperatură constantă şi în general în anumite condiţii de mediu.

Tehnica polarografică deşi destul de complicată, a început să-şi găsească un cîmp destul de vast de cercetare şi în medicină.

Proprietăţile ionilor.

Din cele arătate pînă acum, rezultă următoarele proprietăţi mai importante ale ionilor:

- nu posedă nici-o afinitate chimică ceace explică faptul că într-o sol. diluată de IK nu se poate decela prezenţa iodului ionic cu ajutorul amidonului;
- ionizarea creşte cu diluţia
- semnul încărcării electrice este diferit: pozitiv pentru metale şi hidrogen, negativ pentru metaloizi, grupul OH şi radicalul acid al sărurilor;
- au o viteză diferită de translaţie. Ea depinde în primul rînd de natura lor şi apoi de condiţiile de experienţă (temperatură, t.e.m.). Această viteză adăogată la numărul de ioni, determină rezistenţa electrică a soluţiei respective. Viteza mai depinde de concentraţie, cu care este în raport invers proporţional şi deasemeni se micşorează dacă adăogăm în soluţie subs. indiferente.

Iată vitezele cîtorva ioni sub o dif.de pot.de 1 volt:

H = 0,320 cm/sec
Na = 0,045 cm/sec
Cl = 0,067 cm/sec
SO_4 = 0,076 cm/sec
Fe = 0,048 cm/sec
OH = 0,176 cm/sec

Viteza diferită a ionilor se poate proba experimental astfel: pe o placă de sticlă care are la capete cei doi poli ai unei surse de curent continuu, se pune o sol. diluată de MnO_4K care, pentru a o face mai densă şi pentru ca astfel să nu difuzeze prea uşor, i se solvă puţină uree şi se amestecă cu o sol. de NO_3K. Se lasă să treacă curentul electric şi se observă că ionul MnO_4 care este colorat se îndreaptă spre anod, lucru care se constată sub forma unui nouraş roziu. Dacă se schimbă sensul curentului, îşi schimbă şi ionul MnO_4 sensul.

Datorită vitezei inegale a ionilor, anionul şi cationul iau parte în mod inegal la conducerea electricităţii, producîndu-se astfel prin electroliză o diferenţă de concentraţie la nivelul electrozilor.

Clasificarea conductorilor.

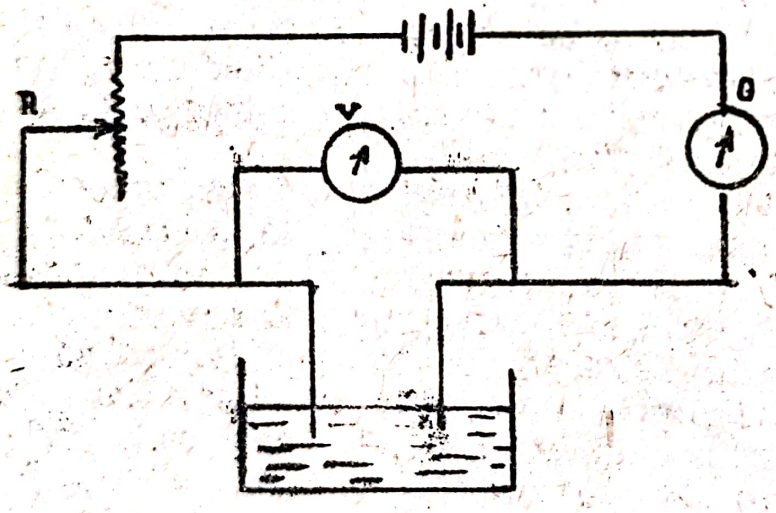
Pe lîngă deosebirile din p.d.v. al stării fizice, conductorii se deosebesc între ei d.p.d.v. elec-

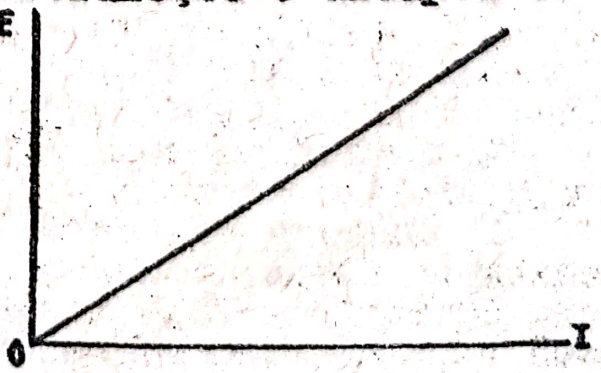
tric şi anume:

Conductorii de ordinul I sunt conductorii metalici. Ei se caracterizează prin aceea că conduc foarte bine curentul electric; transpprtul energiei electrice se face de către electronii liberi ai conductorului şi fără nici-o reacţie chimică care să întovărăşească acest fenomen. Transportul de electroni se face întotdeauna într-un singur sens şi anume dela polul - la cel +. Curentul electric trecut printr-un astfel de conductor, se supune legii lui Ohm.

Conductorii de ordinul II sunt conductorii lichizi reprezentaţi de sol.electrolite. Conduc ceva mai greu curentul electric căci spre deosebire de primul grup în care transportul este efectuat de electronii liberi ce sînt uşori, aci transportul îl execută ionii ce sunt de zeci şi chiar mii de ori mai grei. In aceşti conductori au lor reacţii chimice în timpul trecerii curentului electric, iar curentul este format în acelaşi timp de două fluxuri de sarcini ce merg în direcţii opuse. Unii din ei se supun integral legii lui Ohm, alţii nu. Pentru a proba acest lucru, facem următoarea experienţă:

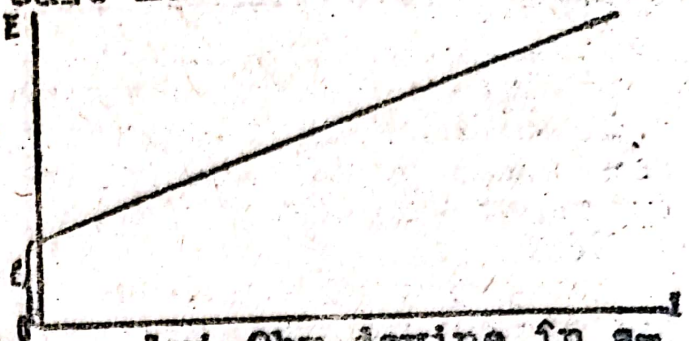
Să considerăm un dispozitiv de electroliză ce este format dintr-o sol. de SO_4Cu şi electrozii tot de cupru. Se pune rezistenţa R la maximu ca să nu treacă nici un curent prin circuit. Se micşorează apoi treptat rezistenţa lăsînd să treacă un curent din ce în ce mai mare. Notînd intensitatea astfel obţinută cu I şi tensiunile corespunzătoare cu E, se construieşte o dreaptă ce trece prin origine ca în fig. alăturată. Dacă se măreşte rezistenţa, lăsînd să treacă un curent din ce în ce mai mic, se obţine o dreaptă de sens invers care se suprapune peste cea anterioară. In acest caz orice punct al





curbei verifică legea lui Ohm.

Dar dacă luăm ca electrolit o sol. de SO_4H_2 cu electrozi de platină şi repetăm experienţa, se obţine tot o dreaptă dar care nu mai taie axa ordonatelor în punctul O ci într-un punct oarecare e. Inchizînd complet rezistenţa, voltmetrul nu mai indică tensiunea zero ca în cazul precedent ci o tensiune oarecare (e) ce scade încet şi apoi cade brusc la zero. Legea lui Ohm devine în acest caz: $E = R.I+e$, relaţie care este aplicată cel mai frecvent la conductorii electrolitici.



Fenomenele se explică prin apariţia în acest din urmă caz, a fenomenului de polarizare a electrozilor.

Consideraţiuni biologice şi aplicaţii în medicină.

Din cauza marei sale întrebuinţări practice, ne vom opri mai mult asupra acestui capitol.

O primă aplicaţie constă în purificarea apei de băut, lucru care se face într-un vas mare în care electrodul pozitiv este de fier, iar cel negativ din cărbune. Prin trecerea curentului electric, se desvoltă oxigen şi compuşi oxigenaţi ai ferului ce distrug microorganismele din apă.

Ionoterapia este aplicaţia de bază şi constă în introducerea de ioni medicamentoşi în organism, pe cale electrică. Rezervăm termenul de ionoterapie numai acestui mijloc de introducere, deoarece în toate celelalte moduri de administrare (injecţii, per os, clisme, frecţii, inhalaţii), nu se introduc numai ioni ci şi molecule, stiind că într-o sol. numai o parte din molecule disociază şi mai ales că în multe cazuri avem deaface cu administrări de droguri ca atare ce nu sunt deloc în stare de ioni. Calea electrică asigură un efect mai prelungit căci se elimină mai încet şi în acelaşi timp mai continuu decît oricare alt procedeu.

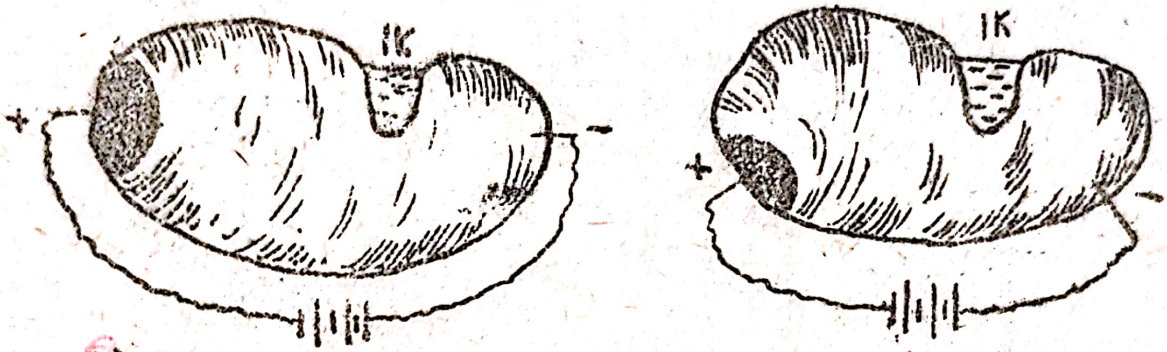
Ca dovadă că ionii străbat organismele, avem următoarele experienţe:

1) Chatzky probează trecerea prin organismele vegetale: se ia un cartof crud în care se pune o sol. diluată de IK. In punctele E şi E' se introduc două fire de platină ce sînt în legătură cu o sursă de curent continuu. După un timp oarecare se cons-

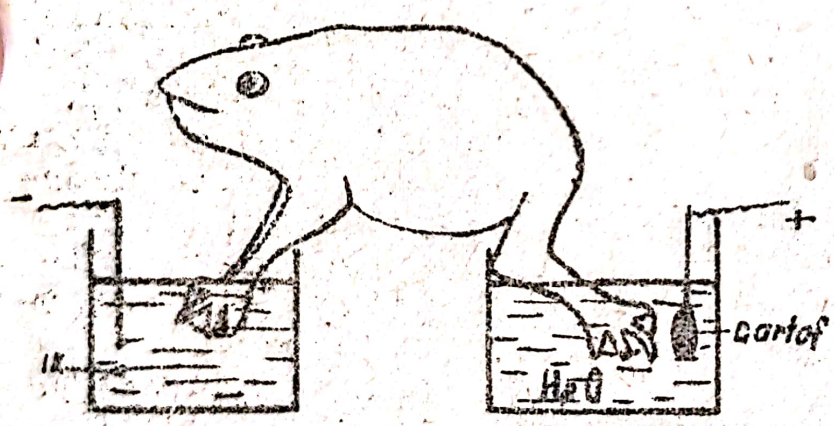
tată o coloraţie albastră la polul pozitiv, iar în dreptul cavităţii cu IK şi nici la polul negativ nu se constată nimic deosebit.

Deci ionul de iod a străbătut cartoful pentru a ajunge la anod, unde transformîndu-se în atom de iod, a dat culoarea albastră, manifestîndu-şi astfel prezenţa printr-o reacţie chimică.

Se repetă experienţa deplasînd electrozii astfel ca IK să fie în afara liniilor de flux. Experienţa însă, dă aceleaşi rezultate.



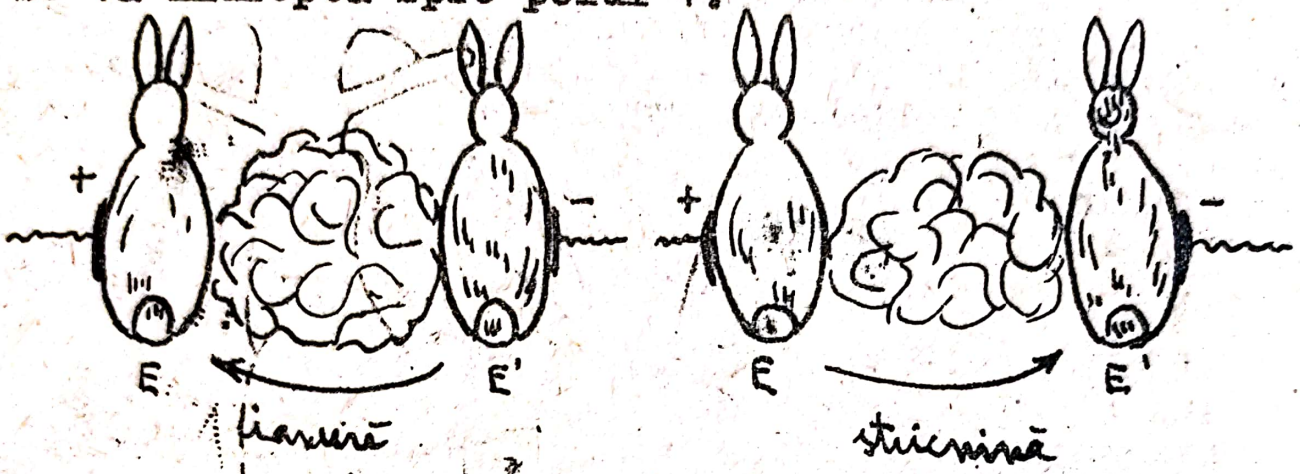
2) Enoch demonstrează pătrunderea ionilor în organismul animal prin următoarea experienţă : se ia o broască căreia i se plasează labele anterioare într-o cuvă ce conţine IK, iar labele posterioare într-o cuvă cu apă. Electrodul + în care se înplîntă o bucată de cartof, este cufundat în cuva cu apă, iar electrodul - în cuva cu IK.



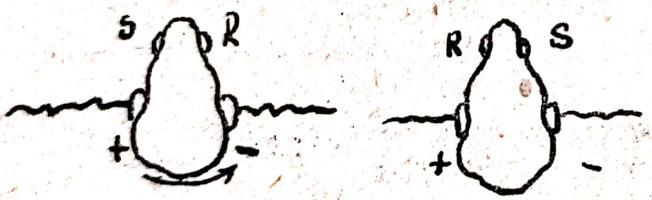
După un timp oarecare de trecere a curentului, bucata de cartof dela polul + se colorează în albastru. Deci ionul de I a traversat corpul broaştei.

3) Leduc demonstrează acelaşi lucru astfel : se iau doi iepuri (E şi E') bine raşi de păr pe flancuri şi se separă între ei printr-o masă de vată îmbibată cu o soluţie de sulfat de stricnină. Iepurele E vine în contact cu polul + şi E' cu polul -. Prin trecerea curentului electric, iepurele E' este cuprins de convulsii şi după un timp, moare.

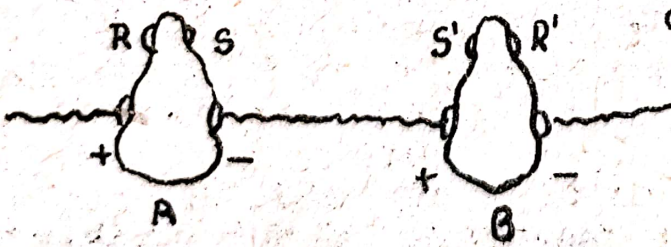
Explicaţie. Stricnina care este o otravă puternică, joacă rolul unui metal şi deci se deplasează sub acţiunea curentului electric spre polul negativ, omorînd astfel un singur iepure. Dacă îmbibăm vata cu cianură de potasiu, la acelaşi dispozitiv, va muri iepurele E deoarece sub acţiunea curentului electric radicalul acid din cianură fiind un anion se va îndrepta spre polul +.



Experienţa lui Leduc se poate face şi pe broască. Simplul contact al stricninei cu pielea este nul. Se aplică apoi doi electrozi, unul R pus în legătură cu polul -, îmbibat cu Ringer, altul S pus în contact cu polul +, îmbibat cu stricnină. După 10' broasca este intoxicată. La o altă broască dacă se îmbibă R cu stricnină şi S cu Ringer, nu se întîmplă nimic deoarece stricnina rămîne la catod, iar radicalul sulfat care pătrunde în organism, nu este toxic.



Se repetă experienţa cu două broaşte reunite printr-un electrod dublu S-S'. Curentul vine dela + prin electrodul R şi iese prin R', astfel că R şi S' sînt +, iar S şi R' sînt -. R şi R' sînt

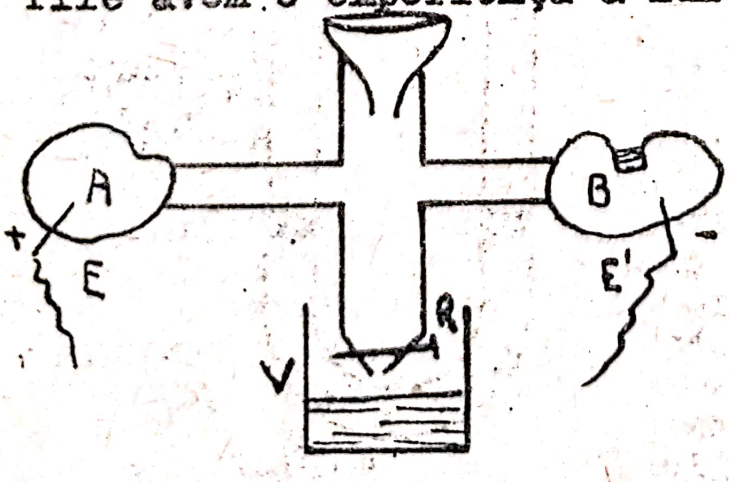


îmbibaţi cu o sol.Ringer, iar S şi S' cu o soluţie de sulfat de stricnină. După trecerea curentului, broasca A rămîne intactă, iar broasca B este intoxicată. Repetîndu-se experienţa de mai sus, dar înlocuind sulfatul de stricnină cu cianură de potasiu, se va intoxica broasca A.

In organismul uman se petrec aceleaşi fenomene, căci acesta se comportă ca un conductor electrolitic şi anume cu o masă de ţesuturi îmbibate cu NaCl. Imediat ce se aplică un curent electric, va fi o deplasare de ioni : ionul Cl^- merge la anod, iar ionul Na^+ merge la catod, astfel că mediul organic este oarecum modificat, apărînd fenomenul de electroliză biologică prin care se înţelege totalitatea fenomenelor electrolitice produse de trecerea unui curent electric prin organismul animal. La nivelul de contact dintre piele şi electrod, se petrec importante modificări biologice ce sînt rezultatul acumulării şi descărcării ionilor în regiunea electrozilor.

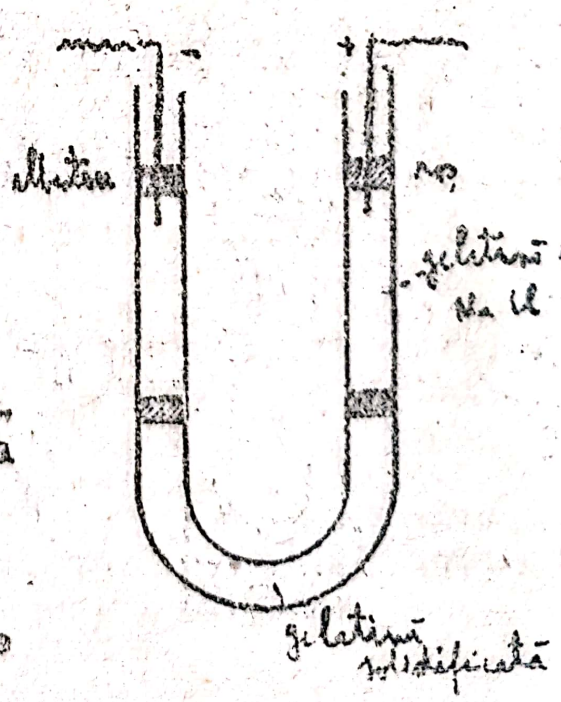
Studiind pătrunderea ionilor în organism, se constată că pătrunderea nu se face uniform în toate punctele suprafeţei corporale. Pentru a proba acest lucru, se îmbibă catodul cu o soluţie de permanganat de potasiu. După un scurt timp dela închiderea circuitului, se constată că pielea se colorează puternic în roşu numai în dreptul orificiilor glandulare, fapt care ne arată foarte concludent că principala cale de pătrundere a ionilor în organismul animal şi uman este dată de canaliculele glandulare. Faptul se explică prin aceea că în aceste canale glandulare există un lichid conductor ce înlesneşte circulaţia ionilor.

Dar odată intraţi în organism, ionii întîmpină acţiuni diverse ce le modifică drumul. Mulţi sînt antrenaţi de torentul sanguin şi limfatic, alţii sînt reţinuţi de păturile profunde ale pielii constituind o rezervă şi abia o mică parte ajunge la celălalt electrod. Ca probă că astfel se petrec lucrurile avem o experienţă a lui Chatzky : se iau 2 cartofi (A şi B) ce sînt reuniţi printr-un tub de sticlă care la partea superioară are o pîlnie, iar la partea inferioară, un robinet. Se lasă să treacă un curent de apă prin pîlnie, tub, robinet. Cartoful B care este în legătură cu polul



are introdus în el o soluţie de IK. Se închide circuitul electric. Printr-un joc al robinetului, se stabileşte circulaţia de apă între cei doi cartofi. Niciodată nu s-a putut constata o coloraţie în E, cînd apa circulă prin robinet, deoarece ionii de I au fost antrenaţi de curentul de apă, dar care vor colora în albastru o sol. de amidon pusă în vasul V. Dacă însă se închide robinetul R, coloraţia albastră nu întîrzie să apară în E.

Dar dacă ionii medicamentoşi se pierd cine asigură circulaţia curentului prin organism? Ea este îndeplinită de alţi ioni încărcaţi cu acelaşi fel de electricitate şi aflaţi în lichidele din organism. Cînd un ion a fost blocat, curentul utilizează un alt ion de natură diferită pe care îl găseşte în regiunea blocării şi a.m.d. Blocarea ionilor poate provoca în unele cazuri, descărcarea lor electrică. Fenomenul pare curios, căci prin legile electrolizei s-a văzut că descărcarea ionilor se face numai la nivelul electrozilor şi niciodecum în spaţiul intermediar. Legea este valabilă numai pentru lichidele omogene dar nu şi pentru cazul cînd electrolitul este distribuit în pături heterogene, căci în organismul uman ca şi în cel animal în general, intră în compoziţie coloizi într-o proporţie de cca. 60%, separaţi prin membranele celulare. Drumul ionilor prin coloizi prezintă cîteva particularităţi puse bine în evidenţă de următoarea experienţă a lui Weiss : într-un tub în formă de U se varsă gelatină solvită în apă şi colorată cu turnesol. După solidificarea gelatinei, se adaugă în ambele ramuri o aceeaşi soluţie de gelatină căreia i s-a adăugat ClNa. Se lasă să treacă un curent electric cu ajutorul a doi electrozi de platină împlîntaţi în soluţia de gelatină şi se observă că turnesolul virează în roşu la electrodul + şi în albastru la electrodul - şi că aceleaşi fenomene se petrec şi la suprafeţele de separaţie dintre soluţiile



gelatinoase numai că culoarea albastră apare la locul de trecere dela gelatina sărată la cea nesărată şi cea roşie în partea opusă. Cu alte cuvinte, s-au creeat în coloid, fenomene de polarizaţie. Aceştia sînt polii virtuali, în contact cu care, ionii îşi pierd sarcinile lor electrice şi reiau afinităţile chimice.

Din punct de vedere chimic, în toate aplicaţiile galvanice trebuie de considerat o acţiune interpolară, o acţiune polară de vecinătate şi o acţiune de contact.

- Efecte interpolare :

Se poate ca să acţioneze curentul ca un catalizator care măreşte schimburile organice, dar mai plauzibil determină migrarea ionilor proprii ai organismului, cu sau fără deplasare prin membrane. In partea interpolară a circuitului, se constată o acţiune analgezică asupra sistemului nervos; o acţiune activantă şi regulatoare a circulaţiei făcînd să dispară stazele şi edemul; determină o creştere a temperaturii teritoriului traversat de curent galvanic (cu cîteva zecimi de grad); o acţiune trofică asupra nutriţiei scăzînd grăsimea de rezervă şi crescînd relieful muscular; cresc foarte mult schimburile respiratorii; produce o creştere a secreţiilor glandulare.

- Acţiunea polară de vecinătate :

Aproape de electrozi se simte : la polul pozitiv o contracţie a fibrelor netede, un uşor grad de vasoconstricţie şi o senzaţie analgezică; la polul negativ o vasodilataţie, mărirea excitabilităţii nervoase şi relaxarea contracturilor.

Dar în practică ambii poli pot avea o acţiune calmantă şi cu efecte cîteodată opuse specificităţii admise.

La nivelul pielii cu electrozi umezi, se observă, cînd se atinge o anumită intensitate, roşeaţă şi senzaţie de sinapism datorite trecerii în stare de atomi a unui număr de ioni de Cl^- şi de Na^+ la nivelul epidermei.

- Acţiunea polară de contact :

In cazul contactului direct dintre organism şi electrodul metalic, trecerea ionilor din organism se produce chiar la suprafaţa epidermei sau

mucoasei, de unde rezultă acţiuni chimice iritative în doze slabe şi caustice pentru doze mai puternice.

Efectele polare sînt diferite după cum electrodul este :

- metalic (inatacabil sau atacabil);
- electrolitic.

Cînd electrodul este metalic şi neatacabil se produce următoarea acţiune a curentului electric care, după Bergonie, este împărţită în trei efecte:

Efectul primar constă într-o acumulare de ioni în jurul electrozilor de semn contrar şi anume Na^+ la catod şi Cl^- la anod.

Efectul secundar : Na^+ prin neutralizare devine atom de Na şi cu apa din ţesuturi dă NaOH şi H; astfel că la acest pol va activa o bază puternică. Clorul, la rîndul lui, mergînd la anod, dă cu apa din ţesuturi ClH şi O; astfel că la acest pol va activa un acid puternic.

Efectul terţiar : din cauza acestor fenomene apar escarele în urma iritaţiilor tegumentelor şi anume : la polul - apare o escară foarte întinsă de culoare roşu-închis, moale şi umedă, subţire, puţin retractilă. Cicatrizarea se face lent. La polul + apare o escară mai mică, colorată brun-închis, uscată, dură, aderentă de ţesuturile vecine şi electrod, supurează foarte rar şi se vindecă rapid, cicatrizarea făcîndu-se sub escară.

Aceste fenomene apar în cîteva minute la un curent de 30 mA.

Cînd electrodul este metalic şi atacabil sau solubil, se înlocuiesc efectele terţiare arătate mai sus, prin combinaţii indirecte ce provin dela solubilizarea electrodului prin HCl. De ex. dacă întrebuinţăm la polul + un ac de fier, se formează clorură de fier care întăreşte acţiunea coagulantă a produşilor coloraţi. Anozii de cupru sînt întrebuinţaţi cîteodată pentru distrugerea granulomilor conjunctivali, anozii de zinc servesc la distrugerea micilor epitelioame cutanate, iar cei de argint au fost utilizaţi în tratamentul uretritelor şi metritelor gonococice.

Cînd electrodul este o soluţie electrolită se capătă efecte asupra pielii, efecte ce sînt dife-

rite după natura soluţiei electrolite care a îmbibat electrodul.

Fiind introduşi prin piele se înţelege că ionii vor acţiona cu predilecţie asupra acestui ţesut. Deaceea ionoterapia se aplică la o serie întreagă de afecţiuni dermatologice.

Vom studia pe scurt mai jos acţiunea cîtorva ioni :

- ionii de Zn ,Cu şi Ag se utilizează pentru proprietăţile lor antiseptice în otite, în ginecologie şi tratarea plăgilor;
- ionii de Cu şi Pb cresc sensibilitatea tumorilor canceroase pentru radioterapie;
- ionul de litiu este indicat în tratamentul gutei. Se întrebuinţează pentru aceasta salicilatul de litină care se combină cu acidul uric din ţesuturi dînd uratul de litină care este mult mai solubil decît uratul de sodiu ce formează depozitele gutoase;
- ionul de K în sol.de IK 1% are o acţiune sclerolizantă. Acelaşi ion se mai foloseşte în paraliziile faciale cînd electrodul negativ se plasează pe orbită sau în ureche astfel ca să atingă leziunile ce se găsesc în tractul intraosos sau intracranian al nervului. Electrodul pozitiv se aşează în regiunea occipitală;
- ionul de carbaină provoacă o anestezie cutanată necesară pentru mici intervenţii superficiale. O sol.de 5% cu un curent cu o intensitate de 5 mA timp de 20' şi cu electrozi cît mai mici posibili, dă o anestezie perfectă care se menţine aproape 10' pînă la o adîncime de 5 mm. Este mult mai puţin toxică (7-8 ori) decît cocaina şi nu să accidente locale;
- ionul de Ca sub forma ClCa 1% pe cale transcerebromedulară în hemiplegii cu contractură şi leziuni ale fascicolului piramidal. Local se aplică în afecţiunile dureroase de orice natură;
- ionul de Mg sub formă de ClMg sau SO_4Mg 20% se aplică pentru iar într-o concentraţie de 15-30% în şedinţe ce durează dela 20' la cîteva ore, în cancere cu rezultate încurajatoare;
- ionul de Th sub forma acetatului de thaliu 1% se foloseşte în aplicaţii limitate în hipertricheză. Şedinţele de 30-45' cu 0,75 mA/cm^2 de electrod. Pentru că foarte adeseori thaliul nu intră

prin piele, se unge în prealabil epiderma cu vaselină şi apoi se smulg firele de păr pentru ca numai orificiile lor să conducă curentul;

- ionul de Ra este folosit cu foarte bun efect în nevralgii. Din nenorocire este prea scump;

- aconitina în sol.de azotat de aconitină 0,25-0,50‰ se utilizează în nevralgii, având o acţiune hipoestezică. La conc.de 0,50‰ anestezia este imediată şi perfectă. Nu se fac mai mult de 12 şedinţe consecutive căci se produc arsuri;

- histamina se foloseşte în soluţii prozapete de 1-20 otg de clorhidrat de histamină la 1000 g.ap. distilată. Pentru un electrod de 10/20 cm, se utilizează 6-10 mA timp de 3-6'. Se produce o roşeaţă locală cu eritem reflex şi edem urticarian;

- ionul salicilic din salicilatul de sodiu 2% combate reumatismul cronic ca şi diversele nevralgii.

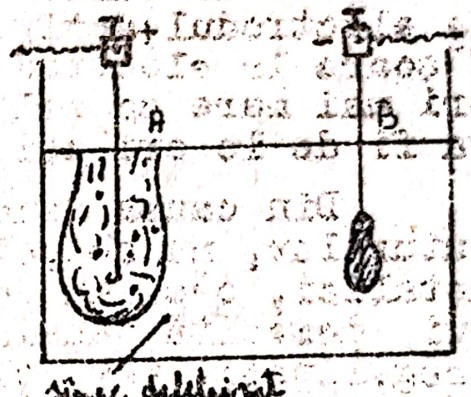
Efectele electrolitice ale ionilor. Reacţia tegumentelor.Imediat ce trece curentul electric, se petrece un transport de ioni, mai ales la nivelul electrozilor. Acest transport produce efecte diferite după natura ionului diferit, iar în timp ele sînt imediate şi tardive.

Ca efecte imediate avem o alterare rapidă a ţesuturilor (H^+ şi OH^-); ionii de Ca, Ba, Fe, Cu, Zn şi în special cel de CO_2 sînt dureroşi; ionii de cocaină şi stovaină din contra, produc anestezie acompaniate de edem, ionul de adrenalină difuzează şi dă un alb de filde cu treneuri de aceeaşi culoare; ionul salicilic este foarte bine tolerat; ionii de Br, I, Cl nu dau decît o uşoară senzaţie de arsură; cei de Ra pot fi introduşi foarte uşor, cei de Th dau nişte pete neregulate, puţin vizibile, de culoare brună rozată.

Ca efecte tardive sau reacţia pielii faţă de ioni, fenomenele se petrec după un stadiu de latenţă foarte lung, după care urmează : ionul de chrom produce hiperemie, inflamaţii periglandulare, erupţii papuloase şi escare ce durează trei săptămîni; ionii alcalino-teroşi provoacă o culoare albă a tegumentelor urmată de un edem elastic gros de 8-10 mm care se indurează apoi şi dă escară, după care urmează o cicatrice; ionul arsenios provoacă apariţia de fenomene dureroase urmate de o erupţie buloasă herpiteformă în timp ce ionii arsenicali sînt

complet inofensivi; ionul SO_4 determină transformarea pielei într-o suprafaţă parcheminată ce se descuamă după 3 săptămîni; ionii de cocaină şi stovaină dau un edem dur urmat de paralizia vasculară şi apoi de o descuamaţie în largi pelicule, ţesuturile conservînd mult timp o coloraţie galben-brună.

Electroliza sîngelui ne dă o idee foarte netă de ceeace se întîmplă prin electroliza ţesuturilor în general. Pentru a face electroliza sîngelui, se cufundă două ace de platină (A şi B) într-un vas ce conţine sînge defibrinat şi se lasă să treacă un curent electric prin sînge un timp de cîteva secunde. Se va forma la polul pozitiv un calos voluminos, negru şi de consistenţă destul de dură, în timp ce la polul negativ apare un calos mic, moale şi spongios.



Dacă ridicăm fără lovîri cele două calusuri, se observă că acul de la polul pozitiv ridică cu el coagulul, pe cînd cel de la polul negativ se ridică fără coagul, acesta alunecînd şi căzînd la fund.

Ca aplicaţii medicale a acestui fenomen citătm: cînd o sondă intră greu în ureter (de ex. din cauza unor stricturi), se leagă sonda la polul negativ a unei surse galvanice şi astfel va aluneca ca şi cum este săpunită. Dacă nu se poate scoate un ac dintr-un ţesut oarecare după o electrolizâ pozitivă, schimbăm sensul curentului pentru cîteva secunde şi acul revine fără nici un efort.

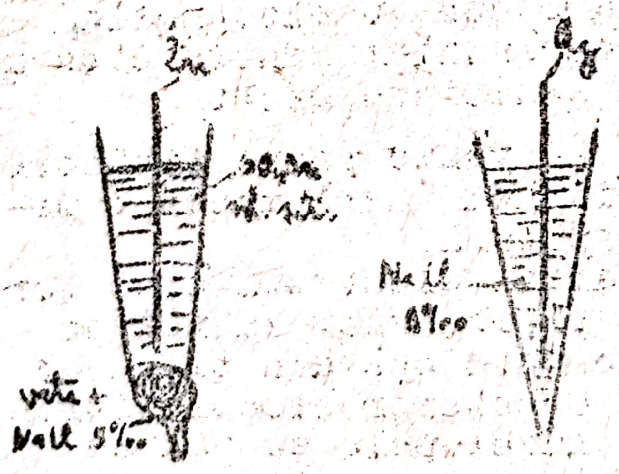
In general curentul galvanic poate fi întrebuinţat în iono-terapie prin două mari metode: metoda unipolară şi metoda bipolară.

In metoda bipolară ambii electrozi sînt formaţi din plăci metalice de plumb, sînt la fel de mari şi sînt acoperiţi cu o anvelopă din tifon ce are drept scop înlăturarea efectelor electrolitice de la nivelul metal-piele. Anvelopele se udă cu apă de la robinet sau mai bine cu ser fiziologic pentru a conduce mai bine curentul electric.

Aplicaţia unipolară utilizează efectele electrolitice de la un singur electrod, de aceea se numeşte unipolară deşi se aplică pe organism tot doi

electrozi. Electrodul care produce efectele electrolitice se numeşte electrodul activ, celălalt (electrodul inactiv sau indiferent) servind numai la trecerea curentului electric şi se aşează în orice regiune de pe suprafaţa cutanată, de preferinţă pe ceafă. De partea electrodului inactiv, efectele trebuesc înlăturate sau cel puţin diminuate şi deoarece efectele electrolitice sînt cu atît mai slabe cu cît densitatea curentului este mai mică, electrodul inactiv se construeşte dintr-o placă metalică mare cu suprafaţa de circa 200 cmp. Dacă avem un curent cu o intensitate de un amper la electrodul activ, acest amper trebue să se desfăşoare la electrodul inactiv pe o suprafaţă de 10 ori mai mare ca cel activ, astfel că intensitatea va fi de 10 ori mai mică.

Din cauza fenomenelor de electroliză ale ţesuturilor, nu se pot aplica pe ţesuturi electrozi metalici, căci în contact cu lichidele organismului, dezvoltă tensiuni electro-motrice superioare inegalităţii potenţialului pe care vrem să-l măsurăm. Deasemenea trebue ca un electrod să fie parcurs de un curent electric fără să dea naştere la t.e.m. de polarizaţie, adică să fie impolarizabil. Aceste condiţii sînt realizate dacă punem în contact ţesuturile cu un lichid care nu le alterează, adică practic cu o soluţie de NaCl 7-9‰ sau dacă se scufundă conductorul metalic într-o soluţie a uneia din sărurile sale . Un astfel de electrod este format dintr-un mic baston de zinc pur ce se scufundă într-un tub de sticlă ce conţine o soluţie saturată de SO_4Zn şi acoperit la partea inferioară cu un tampon de argilă sau vată îmbibată cu ser fiziologic. Se dă acestei extremităţi o forma ascuţită pentru a permite un contact cu o regiune cît mai redusă. D'Arsonval a propus un alt model ce constă dintr-un tub efilat de sticlă ce conţine NaCl şi în care se scufundă un mic cilindru de argint acoperit cu ClAg. Acest electrod este de o construcţie uşoară şi în acelaşi timp de o întrebuinţare como-



dă, totuşi nu este aşa de lipsit de polarizare ca precedentul.

Intrebuinţarea acestor electrozi, indispensabilă pentru măsurarea curenţilor constanţi sau a celor ce variază lent, este mai puţin bună pentru curenţi ce variază rapid şi mai ales pentru decelarea acestora.

După cît se pare, rolul c. electric este să fixeze ionii în regiunea de tratat, fie că introducerea lor se face pe cale electrică sau pe cale bucală dacă în acest din urmă caz acţionăm cu un curent electric în regiunea bolnavă. Efectul în ambele cazuri, este acelaşi.

Pentru a introduce în organism ioni metalici sau în general radicali electropozitivi, sol. medicamentoasă se îmbibă la polul pozitiv al generatorului de curent; iar pentru metaloizi sau radicali electronegativi, sol. se îmbibă la polul negativ al generatorului.

Dacă ne referim la tehnica propriu zisă a ionoterapiei, trebue să precizăm că intensitatea curentului va varia între 20 şi 100 mA. în funcţie de dimensiunile electrozilor. Şedinţele se repetă de trei ori pe săptămînă şi fiecare durează 30-60'. Se suspendă din timp în timp, timp de 7-8 zile pentru a nu irita tare epidermul.

Diversele fapte experimentale arată că în aplicaţiile medicale este un mare transport de apă spre polul negativ, lucru care se explică astfel: coloizii sunt prea mari pentru a străbate membranele. Pentru a stabili echilibrul, apa va traversa membrana spre a se îndrepta spre ei. Dar cum micelele au în general o sarcină negativă, spre acest pol se va îndrepta apa. Pe acest fenomen atribue Zimmern deplasarea apei în prezenţa Na^+ în exces, spre polul negativ. Tendinţa modernă de a atribui edemele brighiticilor nu retenţiei de NaCl ci retenţiei ionilor de sodiu, este în favoarea acestei ipoteze.

Înainte de a cerceta cel de al treilea efect al c. electric: efectul magnetic, să ne oprim puţin asupra magnetismului, cauzei şi explicaţiei sale.

Magnetismul este proprietatea unor corpuri de a atrage metale. Numirea vine dela magnetită (oxidul de fier: Fe_3O_4) ce se găseşte în natură.

Magnetisul se poate căpăta şi artificial prin: frecare cu un magnet natural, prin influenţă, cu ajutorul c.electric.

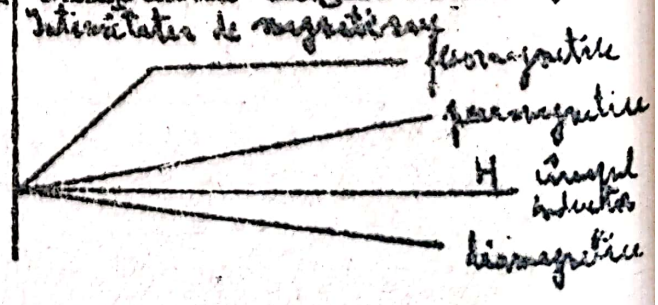
Dacă magnetizarea desvoltată este energică şi puţin stabilă, dispărînd odată cu cauza care i-a dat naştere, avem magnetismul temporar (de ex.ferul pur-ferul moale). Dacă magnetizarea apare mai greu, este mai puţin intensă, dar e mai stabilă şi subsistă cauzei care i-a dat naştere, avem magnetismul remanent (fierul impur; cum e fonta, oţelul).

Orice corp, indiferent de starea lui fizică sau de combinaţie, este în realitate un magnet, magnetizabil.

După felul cum se magnetizează, corpurile se împart în:

- feromagnetice: sunt acelea care se magnetizează în acelaşi sens cu cîmpul magnetic şi care au o susceptibilitate magnetică foarte mare. Corpurile din această grupă pot deveni magneţi puternici şi permanenţi. De ex.ferul şi compuşii săi, Co, Ni.
- paramagnetice: sînt acelea care se magnetizează în acelaşi sens cu cîmpul magnetic, dar susceptibilitatea lor magnetică este mult mai mică. Ele string liniile de forţă magnetică. De ex. gaze ca: O_2, O_3; metale ca: Pt, Pl, K, Na, Al, Cr, Mn; săruri ca cele de chrom mangan, vanadiu, fer, cobalt, nichel.
- diamagnetice: sînt corpuri care se magnetizează în sens invers cu cîmpul. Ele sînt ocolite de liniile de forţă magnetică. De ex. Bi, Cu, Au, Ag, Pb, toate metaloidele afară de O, substanţele organice, apa, H. Corpul uman avînd în componenţa sa substanţe diamagnetice, s-ar orienta ca orice diamagnet.

Dacă mărim intensitatea cîmpului magnetizant, mărim şi forţa magnetică în acelaşi ritm. Dacă fixă începem apoi să scădem intensitatea curentului magnetizant, datorită forţei coercitive care împiedică micii magneţi odată orientaţi să



revie la starea anterioară, se mai păstrează magnetism ce scade într-un ritm mult mai lent. Deci demagnetizarea rămîne puţin în urmă faţă de intensitatea curentului. Acest fenomen a fost numit hysterezis.

Un magnet prezintă doi poli: unul prin care intră liniile de forţă şi prin care acestea au aceiaşi mişcare ca şi acele unui ceasornic şi un pol nord prin care ies liniile de forţă magnetică şi care au o direcţie inversă acelor unui ceasornic. Polii de sens contrar se atrag iar cei de acelaşi sens, se respping.

Coulomb a arătat că forţele de atracţie sau respingere ce se exercită între doi poli magnetici sunt asemănătoare forţelor de atracţie sau respingere electrostatice, adică:

$$F = k \frac{m' \cdot m''}{\mu \cdot r^2}$$

Trebue să precizăm că nu există în realitate o cantitate de magnetism- masă magnetică. Ea s-a introdus numai formal pentru uşurinţa descrierii fenomenelor şi pentru calcularea forţelor magnetice, în etapa interpretărilor mecanice ale fenomenelor electrice şi magnetice, cînd legile interacţiunilor erau reduse la forma legilor de atracţie universală. Ea nu are astfel o existenţă fizică. Polii unui magnet nu sunt puncte de concentrare a cantităţilor de magnetism, ci sînt locuri pe unde liniile de forţă magnetică trec dintr-un mediu cu anumite însuşiri magnetice în alt mediu diferit. Există astfel în realitate numai un punct magnetic, cîmp magnetic, care, ca şi cel electric, are o existenţă fizică.

Cîmpul magnetic reprezintă zona de influenţă din jurul oricărui magnet. Pentru a compara diferitele cîmpuri, se introduce noţiunea de intensitate a cîmpului care se măsoară prin forţa cu care cîmpul acţionează asupra unei unităţi de masă magnetică pozitivă, aşezată în acel punct:

$$H = \frac{F}{m}$$

H=intensitatea cîmpului; F=forţa cu care acţionează cîmpul; m=masa magnetică.

Pentru o masă punctiformă, conform legii lui Coulomb, vom avea:

$$H = \frac{m}{r^2}$$

Unitatea de intensitate în sistemul C.G.S. se

numeşte oersted. Un oersted reprezintă intensitatea unui cîmp care acţionează asupra unei unităţi de masă magnetică cu o forţă de o dynă.

Cîmpul magnetic se poate materializa cu ajutorul pilituriii de fier care se îndreaptă după nişte linii curbe numite linii de forţă magnetică. Aspectul liniilor de forţă făcute cu ajutorul pilituriii, poartă numele de spectru magnetic ce va fi diferit după forma magnetului.

Ca o remarcă generală, liniile de forţă electrice seamănă cu liniile de forţă magnetice, dar între ele există o deosibire fundamentală. Liniile de forţă electrică pleacă de la un corp încărcat cu electricitate pozitivă şi se termină la unul cu electricitate negativă. Locul de unde pleacă sînt ionii pozitivi şi locul unde se termină sînt electronii negativi. Liniile de forţă magnetică n-au capete de separaţie, sînt curbe închise. Nu se poate separa o cantitate de magnetism pozitivă de una negativă. Ele se închid prin materie sau vid.

Teorii asupra magnetismului.

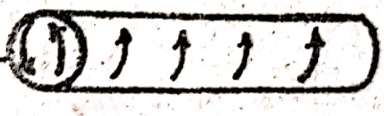
Prima teorie aparţine lui Ampère şi ea se bazează pe două ipoteze;

- existenţa magneţilor moleculari, care, la rîndul lor, sînt produşi de curenţii moleculari;
- orientarea acestor magneţi moleculari sub acţiunea unui cîmp magnetizant.

Ampère şi-a construit teoria, pornind de la observaţia că prin fragmentarea unei magnet, fiecare bucată devine ea însăşi magnet şi că dacă repetăm fragmentarea pînă departe, orice bucată ori cît de mică, devine la rîndul ei un magnet. Putem astfel ajunge cu fragmentarea pînă la stadiul de molecule. Deci, în jurul moleculelor circulă curenţi electrici moleculari, închişi, paraleli şi de acelaşi sens. Cînd substanţa nu este magnetizată, aceşti curenţi sînt orientaţi în toate poziţiile posibile, nefiind paraleli şi de acelaşi sens. Prin magnetizarea substanţei respective, aceşti curenţi se orientează în acelaşi sens devenind şi paraleli. Pentru a demonstra acest lucru, luăm o eprubetă în care punem puţină pilitură de fier. Magnetizăm eprubeta. Se constată cu ajutorul busolii, prezenţa celor doi poli. Agităm eprubeta prin scuturare. Se constată că magnetismul ei dispare.

Iată cum se explică prezenţa celor doi poli numai la capete: prin procesul de magnetizare, curenţii moleculari se aşează astfel încît axele lor să devie paralele. Deci curenţii moleculari sînt orientaţi formînd curenţi perpendiculari pe direcţia barei magnetice, după cum se vede din figură. Curenţii moleculari fiind liberi în mişcările lor, se vor îndrepta în acelaşi sens ca şi curentul din spirala magnetizată. Dacă săgeţile mari exterioare arată direcţia curentului magnetizant, curenţii moleculari se vor aşeza în aceiaşi direcţie (săgeţile mici). Dar cum curenţii moleculari au acelaşi sens, porţiuni vecine din doi curenţi alăturaţi vor avea direcţii opuse, în aşa fel încît îşi anulează efectele. Acest lucru se petrece în toate moleculele în afară de cele de la capete unde, aceşti curenţi au o direcţie într-o parte, şi o direcţie contrară în cealaltă parte.

Un magnet în formă de bară va fi conceput ca parcurs la exterior de un număr mare de curenţi paraleli.



A doua de a doua teorie, este teoria modernă- teoria electronică, ce are multe asemănări cu teoria lui Ampère căci admite existenţa curenţilor elementari, numai că aceştia sînt datoriţi mişcării electronilor. In adevăr, electronul ce se găseşte în mişcare pe orbită, formează ca orice sarcină electrică în mişcare, un curent electric ce creiază în jurul său un cîmp magnetic. Deci cîmpurile magnetice ale electronilor formează cîmpul magnetic molecular. Dacă astfel se petrec lucrurile, de ce însuşirile magnetice se observă numai la cîteva corpuri? Incă de la 1846-47, Faraday a observat că un cîmp magnetic acţionează asupra corpurilor fără nici-o excepţie, dar acţiunea se manifestă în grade deosebite. Deosibire constă în aceea că în cazul anumitor poziţii ale cîmpurilor magnetice ale dife-

riţilor electroni care intră în constituţia substanţei complexe, se pot anihila reciproc, iar în cazul altor poziţii, dau un cîmp oarecare rezultant.

Deocamdată un lucru rămîne stabilit: magnetismul este o însuşire inseparabilă fiecărei sarcini electrice în mişcare, iar curentul electric şi cîmpul magnetic sînt două manifestări ale aceluiaşi proces: mişcarea sarcinilor electrice.

Mergînd mai departe, trebue să spunem că fiecare curent închis se caracterizează printr-o mărime deosebită numită "moment magnetic" sau "spin magnetic" şi care este proporţional cu produsul dintre intensitatea curentului şi suprafaţa înconjurată de curent. Şi nucleul, dar mai ales electronii, au momente magnetice, căci după părerea actuală ei se învîrt în jurul unui ax propriu. In atomii şi moleculele complexe, numeroşii electroni se pot mişca pe orbite diferite, repartizate spaţial. Momentele lor magnetice care depind atît de mişcarea pe orbită cît şi de rotaţia împrejurul axei, se adună şi creiază un moment magnetic total al atomului sau moleculei. Dacă momentul magnetic total este diferit de zero, corpul este paramagnetic. Un astfel de corp situat în afara unui cîmp magnetic are un cîmp magnetic exterior nul deoarece curenţii lui moleculari şi mişcările în jurul axelor se fac cu totul dezordonat. Sub influenţa unui cîmp magnetic exterior toţi magneţii moleculari tind să se aşeze paralel cu direcţia liniilor de forţă, fapt împiedicat de mişcarea termică ce caută să menţină starea iniţială dezordonată. Din acţiunea acestor după forţe ce se petrec în corp, se creiază un număr redus de momente magnetice. Cînd momentul magnetic total al atomului este egal cu zero, corpul este un diamagnet. Aşezat într-un cîmp magnetic, mişcarea electronilor nu se modifică sub influenţa cîmpului. După legea lui Lenz, o modificare se produce astfel, încît se opune cauzei care o provoacă adică, se opune cîmpului magnetic exterior. Apar în molecule, momente magnetice proprii ale căror sens este acela al liniilor de forţă. Se creiază lănţişoare de magneţi cu polul N unde intră liniile de forţă şi cu polul S pe unde ies aceste linii. De aceea aceste corpuri se aşează transversal pe liniile de forţă magnetice în afara spaţiului dintre polii unui magnet.

La corpurile feromagnetice, datorită aşezării straturilor electronice ale atomilor, există momente magnetice pe au polii îndreptaţi în acelaşi sens chiar fără nici o influenţă a vreunui cîmp magnetic.

Teoria electronică explică o grămadă de fenomene:

- Se explică de ce un magnet are doi poli: orbita unui electron are două feţe, tot aşa cum o foaie de hîrtie are şi ea două feţe. Liniile de forţă ale cîmpului magnetic care străbat această orbită, intră printr-o faţă şi ies prin cealaltă, aşa încît se înţelege că cele două feţe nu pot lucra la fel;

- Un pol N al unui magnet atrage polul S al altui magnet şi îl respinge pe cel N, deoarece un pol N în faţa unui pol S înseamnă posibilitatea ca liniile cîmpului magnetic care ies din polul N să pătrundă în polul S, pe cîtă vreme un pol N în faţa altui pol N înseamnă o luptă între liniile de forţă care ies din cei doi magneţi;

- Un ac magnetic se orientează pentrucă orbitele electronilor din atomii lui se orientează şi ele toate la fel astfel încît liniile de forţă ale cîmpului magnetic să le străbată intrînd printr-o parte şi ieşind prin cealaltă.

Nu este mai puţin adevărat că sînt lucruri încă nelămurite, sau cel puţin pe deplin lămurite. Teoria electronică a adus însă aşa de mari servicii încît cel mult poate fi completată nici de cum înlăturată.

Din teoria electronică se mai deduce că fenomenele magnetice nu sînt altceva de cît un caz special al fenomenelor electrice, magnetismul fiind un capitol al electricităţii dinamice.

Efectul magnetic al curentului electric.

Efectul magnetic al curentului electric cunoscut şi sub numele de electromagnetism constă în acţiunile produse de un curent electric în afară de conductorul prin care trece. Numirea de electromagnetism vine de la aceea că aceste acţiuni sînt de ordin magnetic, adică apar fenomene asemănătoare magnetismului.

Trebue de specificat că dintre toate efectele curentului electric, efectul magnetic este cel mai constant (el se produce în orişice conductor şi sub acţiunea oricărui fel de curent electric) şi că în nici un caz nu poate fi separat de curentul electric.

Acest efect se pune în evidenţă cu ajutorul cîmpului magnetic care se poate materializa cu ajutorul pilituriii de fier. Dacă se studiază direcţia liniilor de forţă, se constată:

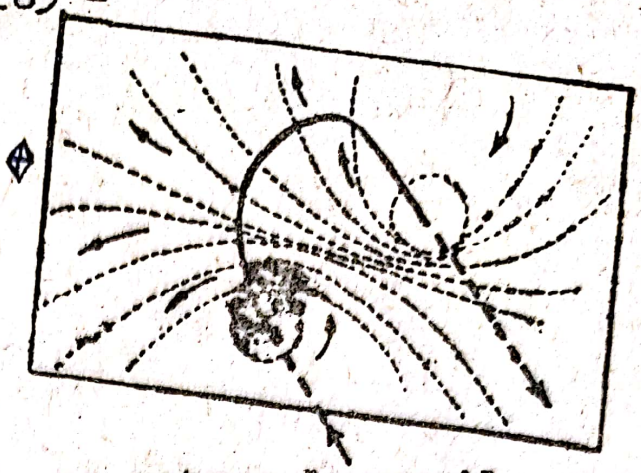
1. Pentru un curent rectiliniu, sensul liniilor de forţă este acela în care ar trebui învîrtit un burghiu pentru a-l face să progreseze în sensul curentului (regula burghiului).

O regulă simplă este şi regula cuprinderii: Dacă cuprindem un conductor cu mîna astfel ca degetul mare să ne arate sensul curentului, celelalte degete ne indică sensul liniilor de forţă.

In spaţiu, liniile de forţă sînt reprezentate ca cilindrii concentrici ce au axul comun după direcţia conductorului.

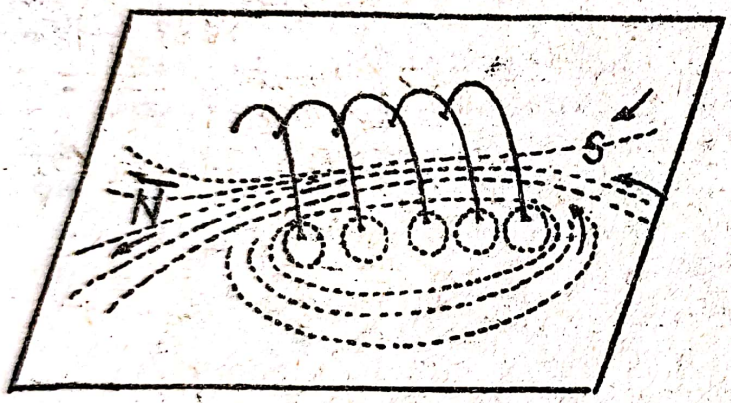
2. Pentru un curent circular, burghiul înaintînd în direcţia curentului, ne dă prin rotaţia sa, sensul liniilor de forţă. Inaintînd în direcţia unei linii de forţă, ne dă prin notaţia sa, sensul curentului.

Experienţă: se ia un carton prin care trece un fir electric care străbate cartonul în două puncte. Trecînd un curent electric prin fir, pilitura de fier se va aşeza sub influenţa cîmpului magnetic al curentului, sub formă de linii curbe închise ce înconjoară cele două puncte pe unde intră şi iese curentul. Observatorul lui Ampère culcat pe curent



şi privind spre carton, vede că sensul liniilor de forţă magnetică este îndreptat de la dreapta spre stînga. Se numeşte faţa dreaptă sau negativă, faţa pe unde intră liniile de forţă şi în care se vede că circulă curentul în sensul acelor unui ceasornic. Invers se petrec lucrurile pentru faţa stîngă sau pozitivă.

3. **Solenoizi.** Se numeşte solenoid o serie de curenţi circulari, paraleli şi de acelaşi sens. Liniile de forţă magnetică ale unui solenoid sînt linii curbe închise care la exterior au acelaşi drum ca şi liniile de forţă ale unei bare magnetice. Aceste linii se prelungesc şi în interiorul solenoidului, unde, afară de extremităţile solenoidului, sînt paralele. Deci în interiorul unui solenoid avem un cîmp magnetic uniform. Capetele solenoidului pe unde intră şi ies liniile de forţă, prezintă polii magnetici.



Cîmpul magnetic al unui curent creşte direct proporţional cu intensitatea curentului. Această proprietate se foloseşte în galvanometre.

In cazul unui curent rectiliniu, forţa magnetică (f) exercitată de curent cu intensitate de (i) amperi, într-un punct oarecare aşezat la distanţa (r) de curent unde s-ar afla masa (m) de unităţi de magnetism, este exprimată astfel în dyne:

$$f=\frac{2.i.m}{10.r.}$$

Vedem deci că forţa magnetică a unui curent rectiliniu şi indefinit, într-un punct oarecare, variază în raport invers proporţional cu distanţa punctului considerat de la curentul rectiliniu şi direct proporţional cu intensitatea curentului şi

masa magnetică a punctului respectiv. Această lege a fost stabilită experimental de Biot şi Savart.

Pentru un solenoid, cîmpul magnetic în regiunea centrală este uniform şi valoarea în dyne este dată astfel :

$$H = \frac{4\pi N.i}{10}$$

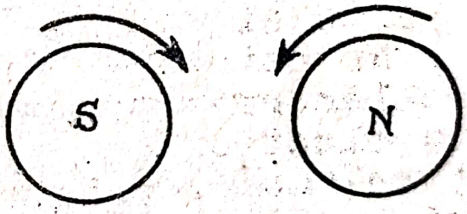
N = numărul de spire; i = intensitatea (în amperi).

Unitatea de cîmp poartă numele de Gauss în onoarea fizicianului german cu acelaşi nume. Un gauss se defineşte ca unitatea de cîmp care există în interiorul unui solenoid sau a unei bobine regulat rulată, cînd produsul dintre numărul de spire raportat la numărul de amperi ce traversează conductorul, are o valoare de 1/1,26 sau $10/4\pi$.

Aplicaţii

1) Electromagneţii. Intrebuinţarea lor a pornit dela descoperirea lui Arago (1820) care a observat că pilitura de fier este atrasă de o bucată de fier prin care trece un curent, sau este destul să treacă curentul electric deasupra unei bucăţi de fier, pentru ca aceasta să capete proprietăţi magnetice.

Ampère a înfăşurat bucata de fier ca un solenoid creindu-se astfel electromagneţii ce au acţiuni magnetice numai atît timp cît trece curentul electric în jurul lor. Polii unui electromagnet sînt daţi de regula lui Ampère.

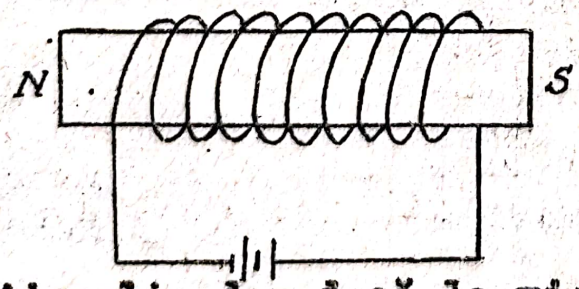


Ca formă ei pot fi:

-drepţi, cu o singură bobină;

-în formă de potcoavă cu două bobine sau cu chiulasă.

La electromagneţii drepţi la fiecare capăt este cîte un pol magnetic, în timp ce la cei în potcoavă putem avea ori acelaşi pol ori poli diferiţi, după cum este bobinată sîrma şi anume : dacă este bobinată în acelaşi sens, avem ambii poli, dar dacă la mijlocul bucăţii de fier schimbăm sensul bobinajului, vom obţine la ambele capete acelaşi pol.



Puterea unui electromagnet este dată de mai mulţi factori : intensitatea curentului ce trece prin bobină, numărul de spire a acesteia, diametrul

masa magnetică a punctului respectiv. Această lege a fost stabilită experimental de Biot şi Savart.

Pentru un solenoid, cîmpul magnetic în regiunea centrală este uniform şi valoarea în dyne este dată astfel :

$$H = \frac{4\pi N.i}{10}$$

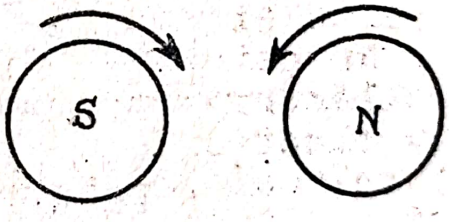
N = numărul de spire; i = intensitatea (în amperi).

Unitatea de cîmp poartă numele de Gauss în onoarea fizicianului german cu acelaşi nume. Un gauss se defineşte ca unitatea de cîmp care există în interiorul unui solenoid sau a unei bobine regulat rulată, cînd produsul dintre numărul de spire raportat la numărul de amperi ce traversează conductorul, are o valoare de 1/1,26 sau $10/4\pi$.

Aplicaţii

1) Electromagneţii. Intrebuinţarea lor a pornit dela descoperirea lui Arago (1820) care a observat că pilitura de fier este atrasă de o bucată de fier prin care trece un curent, sau este destul să treacă curentul electric deasupra unei bucăţi de fier, pentru ca aceasta să capete proprietăţi magnetice.

Ampère a înfăşurat bucata de fier ca un solenoid creindu-se astfel electromagneţii ce au acţiuni magnetice numai atît timp cît trece curentul electric în jurul lor. Polii unui electromagnet sînt daţi de regula lui Ampère.

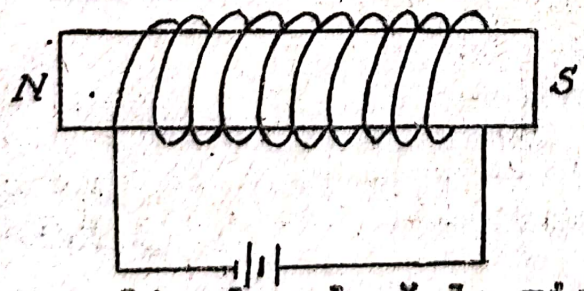


Ca formă ei pot fi:

-drepţi, cu o singură bobină;

-în formă de potcoavă cu două bobine sau cu chiulasă.

La electromagneţii drepţi la fiecare capăt este cîte un pol magnetic, în timp ce la cei în potcoavă putem avea ori acelaşi pol ori poli diferiţi, după cum este bobinată sîrma şi anume : dacă este bobinată în acelaşi sens, avem ambii poli, dar dacă la mijlocul bucăţii de fier schimbăm sensul bobinajului, vom obţine la ambele capete acelaşi pol.

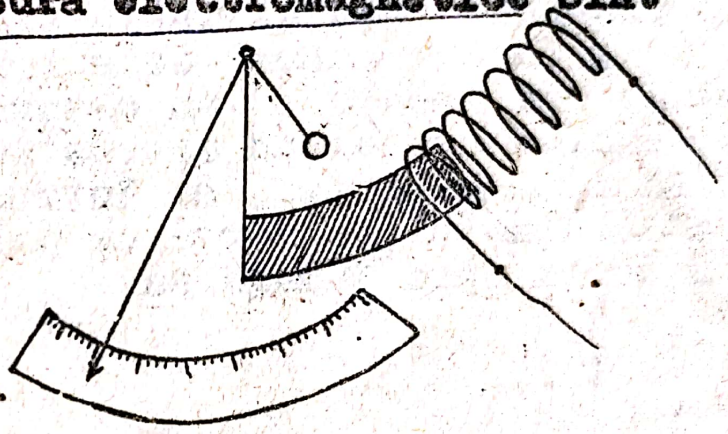


Puterea unui electromagnet este dată de mai mulţi factori : intensitatea curentului ce trece prin bobină, numărul de spire a acesteia, diametrul

firelor, dimensiunile bobinei, calitatea fierului. Această putere se poate măsura atîrnînd de armătura electromagnetului diverse greutăţi pînă cînd nu mai este atrasă de bobină.

In medicină electromagneţii sînt folosiţi ca atare în chirurgia de război la extragerea schijelor feroase în special din ochi sau răni superficiale. Se mai folosesc la construirea semnalului electric şi diapasonului electric.

2) Aparatele de măsură electromagnetice sînt formate dintr-o bobină prin care circulă curentul electric de măsurat. In faţa bobinei este o bucată de fier moale ce este atrasă de solenoid numai în funcţie de intensitatea curentului şi nu după sensul lui, care se poate schimba ori cît de des. Cu cît este atras mai tare miezul de fier de solenoid, cu atît se mişcă şi un ac indicator în faţa unui cadran, căci acul este pus în legătură printr-o tijă mecanică, cu bucata de fier mobil.

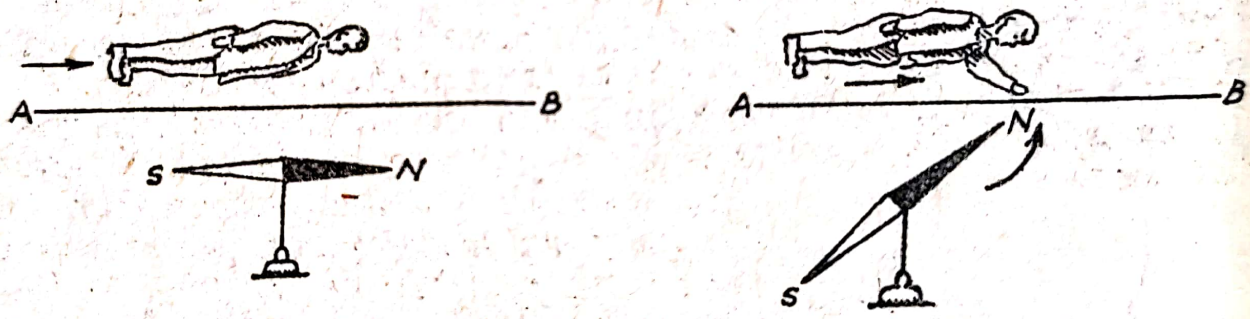


Acţiunile reciproce dintre curenţi şi magneţi

1) Acţiunea curenţilor asupra magneţilor.

Oersted a făcut următoarea experienţă : a aşezat un fir conductor paralel cu un ac magnetic. Lăsînd să treacă un curent electric de un anumit sens prin conductor, a observat că acul magnetic deviază din poziţia sa de repaus, tinzînd să se orienteze perpendicular pe direcţia conductorului. Schimbînd sensul curentului, se schimbă şi sensul devierii acului magnetic care devia în sens opus.

In ambele cazuri sensul devierii este dat de regula lui Ampère : un observator culcat de-a lungul curentului astfel ca acesta să intre prin picioare şi să iasă prin cap, şi întors cu faţa astfel ca să vadă magnetul, observă că polul nord al acesteia va devia spre stînga sa.



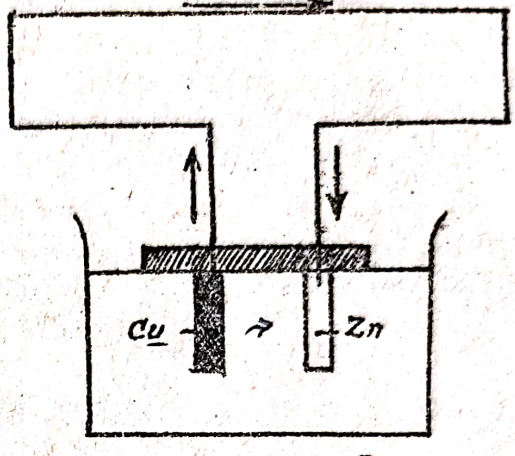
După această descoperire, o serie întreagă de fizicieni au completat experienţa. Astfel Schweiger observă că dacă se înconjoară acul magnetic cu un circuit în formă dreptunghiulară, acţiunea părţilor de circuit paralele cu acul se adaugă şi acelor perpendiculare sînt nule. Deaceea dacă înconjurăm acul magnetic de mai multe ori cu firul electric conductor, obţinem multiplicatorul lui Schweiger care permite o deviaţie mai mare a acului, chiar pentru un curent slab ce ar trece prin conductor.

Explicaţia devierii magnetului este foarte simplă : sub acţiunea curentului electric se creează un cîmp magnetic perpendicular pe curent şi deci perpendicular pe cîmpul magnetic al magnetului. Magnetul se orientează astfel ca cele două cîmpuri magnetice să fie de acelaşi sens.

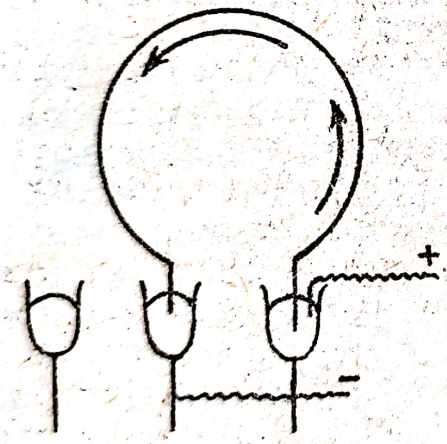
2) Acţiunea magneţilor asupra curenţilor

De astă dată trebuie să avem o porţiune mobilă dintr-un circuit prin care să treacă un curent electric şi de un magnet fix. Acest lucru se poate realiza prin mai multe feluri :

Experienţa lui De la Rive : printr-un dop de plută pătrund doi electrozi, unul de cupru, altul de zinc ce plutesc într-un vas cu apă acidulată. Se creează astfel o pilă ce debitează un curent electric ce trece printr-un fir gros de cupru. Pila se orientează perpendicular pe meridianul magnetic terestru ca şi cum circuitul electric ar fi echivalent cu un magnet. Apropiind un magnet de cadrul pilei, aceasta se roteşte într-un sens ce depinde de polul magnetului.



Experienţa lui Ampère : un cadru circular are două capete, unul în centrul unui suport, altul în jurul celei dintîi, într-un şănţuleţ în care se află mercur. Cînd trece curentul prin cadru, cercul se orientează cu suprafaţa perpendicular pe direcţia meridianului magnetic. Dacă apropiem un magnet de suprafaţa parcursă de curent, cadrul se întoarce într-o direcţie sau alta în funcţie de polul ce se apropie.

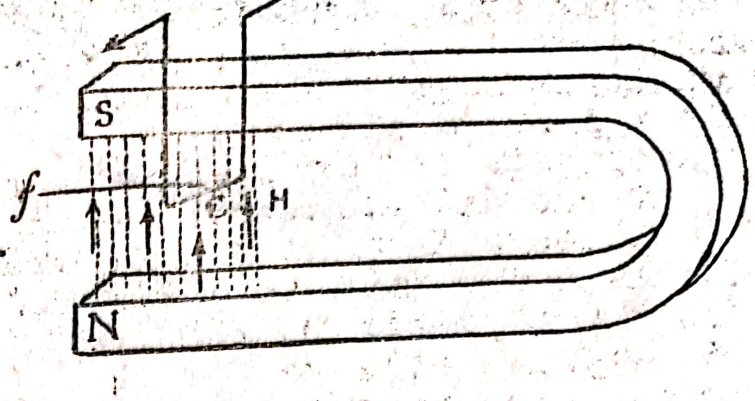


Din toate experienţele întreprinse în legătură cu această acţiune, se desprind următoarele fapte :

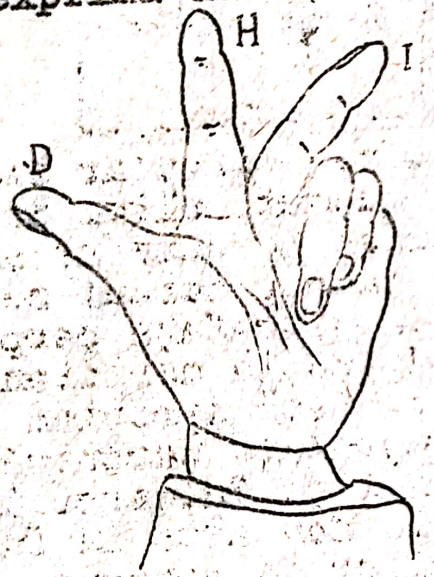
- un cîmp magnetic exercită asupra circuitului, o acţiune sau forţă ce se numeşte electromagnetică, întocmai ca şi cea exercitată de un curent electric asupra unei mase magnetice;
- dacă o porţiune de curent este mobilă sub acţiunea cîmpului magnetic exterior, ea se va orienta şi se va aşeza astfel încît porţiunea de curent să fie străbătută de cît mai multe linii de forţă magnetică, adică fluxul magnetic să fie maxim.

Direcţia şi sensul forţei electromagnetice se poate afla experimental astfel : se aşează un magnet în formă de potcoavă astfel încît linia polilor să

fie verticală. Perpendicular pe această linie ce reprezintă direcţia cîmpului magnetic, se fixează o porţiune rectilinie şi mobilă dintr-un circuit. Sub influenţa forţei magnetice, se va deplasa spre stînga omuleţului lui Ampère care ar privi în direcţia cîmpului, deci aşezat cu spatele spre polul nord, de unde pleacă liniile de forţă.



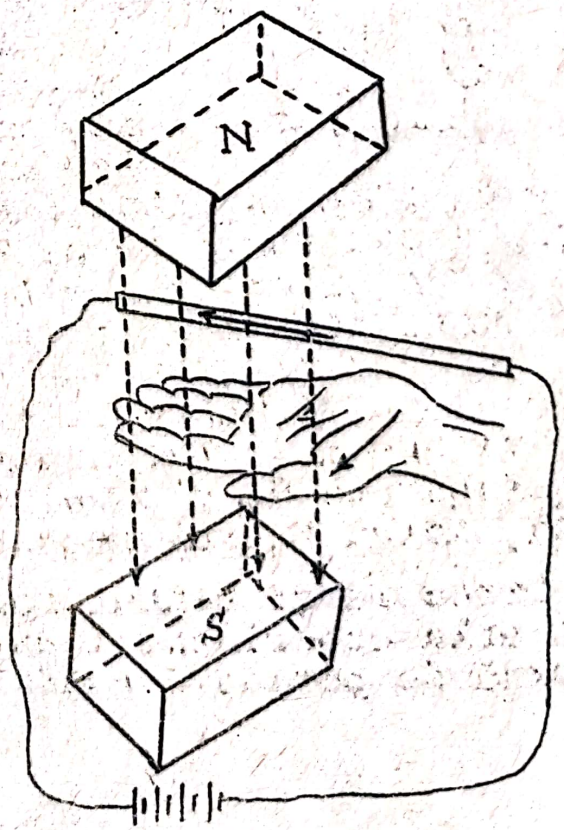
Teoretic, direcţia forţei electromagnetice se află după "regula mîinii stîngi" a lui Fleming, ce se exprimă astfel : aşezînd degetul mijlociu în direcţia curentului electric (I), arătătorul în sensul liniilor cîmpului magnetic (H), degetul gros va da direcţia în care se va deplasa circuitul, adică direcţia forţei de acţiune (D).



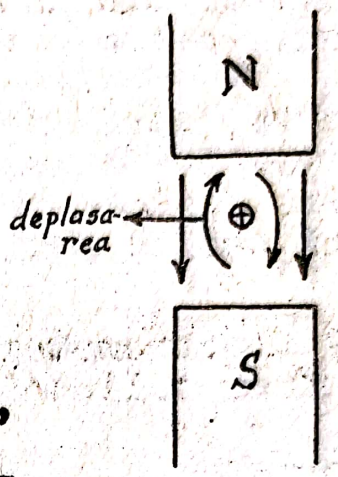
Semnificaţia celor trei degete poate fi schimbată prin strămutarea în mod circular a literelor, adică regula lui Fleming permite trei expuneri.

Sensul devierii unui cadru străbatut de un curent electric se poate determina şi astfel :
dacă ţinem mîna stîngă cu palma dispusă astfel încît liniile de forţă să intre prin podul palmei, degetul arătător rămînd în sensul curentului, direcţia degetului mare ne arată deplasarea conductorului.

Rostul se poate înţelege foarte uşor din fig. alăturată.



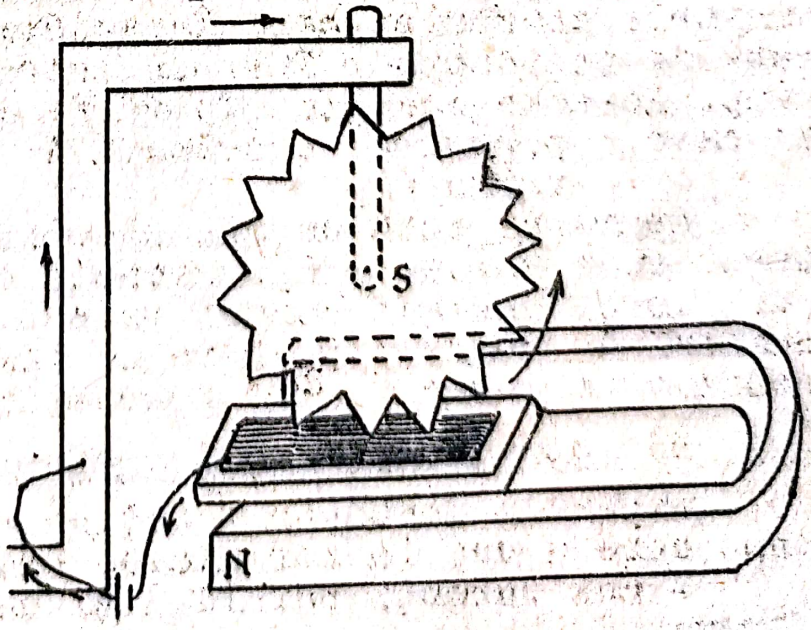
Cum se explică această deplasare ca şi sensul ei? Acţiunea cîmpului magnetic asupra conductorului prin care circulă curentul electric, este o consecinţă a interacţiunii dintre cîmpul magnetic produs de magnet şi cîmpul magnetic produs de curent. De exemplu în figura alăturată este reprezentată dispoziţia liniilor de forţă ale unui magnet şi ale unui curent electric rectiliniu ce circulă dinspre cititor perpendicular pe figură (⊕). Se observă că în partea dreaptă a figurii, liniile de forţă ale ambelor cîmpuri au aceeaşi direcţie şi deci se vor respinge reciproc; în partea stîngă însă, liniile sînt opuse şi astfel conductorul se va mişca în această parte. Deci conductorul se deplasează spre stînga aşa cum rezultă din regula lui Fleming.



Aplicaţii

1) Roata lui Barlow. Folosind forţa electromagnetică ce o exercită un cîmp magnetic asupra unui curent mobil, se poate obţine o mişcare de rotaţie continuă în aparatul care poartă numele de roata lui Barlow.

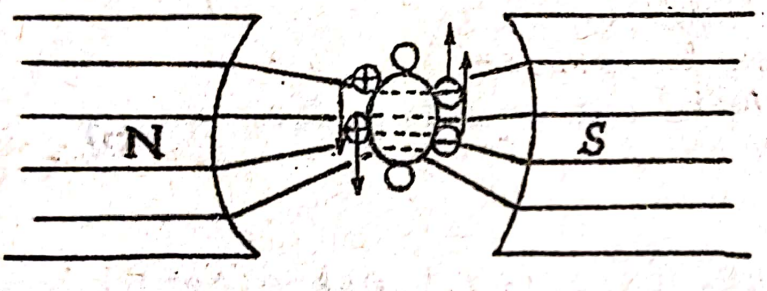
Aparatul este format în felul urmator : un disc de cupru subţire şi mobil în jurul unui ax orizontal, se aşeaza într-un cîmp magnetic paralel cu axul perpendicular deci pe planul discului. Partea inferioară a discului atinge mercurul dintr-un jghiab de lemn şi comunică cu unul dintre polii generatorului electric. Celălalt pol este pus în legătură cu suportul (S) pe care se sprijină axul discului. Porţiunea de curent mobilă



este îndreptată după raza dusă dela axul discului la suprafaţa de contact cu mercurul din jghiab. Discul se aşează între polii unui magnet în formă de potcoavă, aşezaţi în plan orizontal. Dacă cîmpul magnetic şi curentul au sensul indicat pe figură, discul se va învîrti continuu după cum arată săgeata. Aceasta este modul cel mai simplu al unui motor electromagnetic.

Invers, dacă învîrtim roata, se naşte o t.e.m. de inducţie între axul roţii şi periferia ei. Sensul curentului depinde de sensul învîrtirii roţii, căci schimbînd sensul rotirii, se schimbă şi sensul curentului.

2) Electromotorul constă în principiu dintr-un miez de fier cilindric (C) mobil în jurul axului central paralel cu generatoarea sa, aşezat între polii unui electromagnet. Pe tamburul (C) se găsesc înfăşurate de-a lungul lui, spire prin care circulă un curent electric. Cîmpul de inducţie al electromagnetului acţionează asupra curentului din fiecare spiră mobilă şi produce tensiuni electromagnetice ca şi în figura de mai sus. Aceste tensiuni electromagnetice dau un cuplu care roteşte tamburul (rotorul) între polii electromagnetului.



3) Pe principii asemănătoare se construiesc contorii electrici cari înregistrează energia consumată de un receptor într-un interval oarecare de timp. Această energie (W) va fi : W=p.a.t formulă în care : p=puterea consumată în fiecare moment şi t=timpul.

Aparatul este un mic electromotor care se roteşte cu o viteza proporţionala cu puterea curentului, încît energia consumata este proporţională cu numărul de turaţii pe care le înregistreaza un dispozitiv de înregistrare a rotaţiilor.

5) <u>Acţiunea curenţilor asupra curenţilor</u>

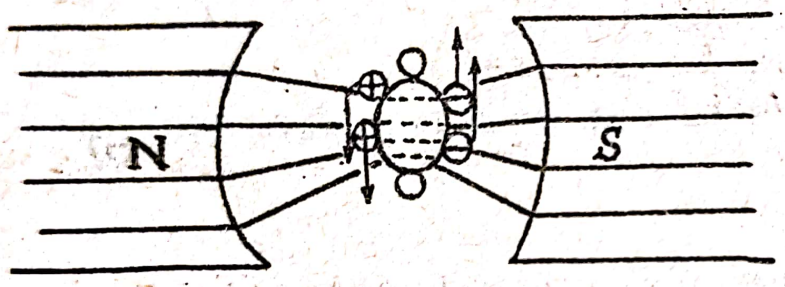
Ampère a descoperit acţiunea dintre curenţi, fapt care a dus la formularea următoarelor legi :

- doi curenţi paraleli şi de acelaşi sens se atrag;
- doi curenţi paraleli şi de sens contrar se

este îndreptată după raza dusă dela axul discului la suprafaţa de contact cu mercurul din jghiab. Discul se aşează între polii unui magnet în formă de potcoavă, aşezaţi în plan orizontal. Dacă cîmpul magnetic şi curentul au sensul indicat pe figură, discul se va învîrti continuu după cum arată săgeata. Aceasta este modul cel mai simplu al unui motor electromagnetic.

Invers, dacă învîrtim roata, se naşte o t.e.m. de inducţie între axul roţii şi periferia ei. Sensul curentului depinde de sensul învîrtirii roţii, căci schimbînd sensul rotirii, se schimbă şi sensul curentului.

2) Electromotorul constă în principiu dintr-un miez de fier cilindric (C) mobil în jurul axului central paralel cu generatoarea sa, aşezat între polii unui electromagnet. Pe tamburul (C) se găsesc înfăşurate de-a lungul lui, spire prin care circulă un curent electric. Cîmpul de inducţie al electromagnetului acţionează asupra curentului din fiecare spiră mobilă şi produce tensiuni electromagnetice ca şi în figura de mai sus. Aceste tensiuni electromagnetice dau un cuplu care roteşte tamburul (rotorul) între polii electromagnetului.



3) Pe principii asemănătoare se construiesc contorii electrici cari înregistrează energia consumată de un receptor într-un interval oarecare de timp. Această energie (W) va fi : W=p.d.t formulă în care : p=puterea consumată în fiecare moment şi t=timpul.

Aparatul este un mic electromotor care se roteşte cu o viteza proporţionala cu puterea curentului, încît energia consumata este proporţională cu numărul de turaţii pe care le înregistreaza un dispozitiv de înregistrare a rotaţiilor.

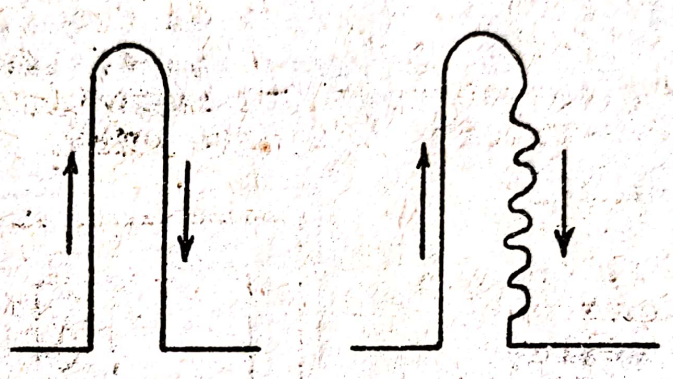
5) <u>Acţiunea curenţilor asupra curenţilor</u>

Ampère a descoperit acţiunea dintre curenţi, fapt care a dus la formularea următoarelor legi :

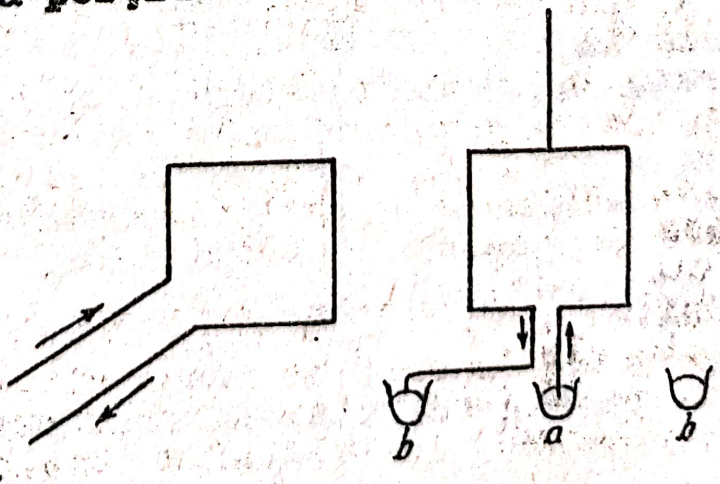
- doi curenţi paraleli şi de acelaşi sens se atrag;
- doi curenţi paraleli şi de sens contrar se

resping :
-doi curenţi încrucişaţi tind să devie paraleli şi de acelaşi sen;
-un curent sinuos are aceeaşi acţiune ca şi un curent rectiliniu de aceeaşi întindere.
Aceste legi se pot demonstra prin următoarele experienţe :

a) Să îndoim o porţiune rectilinie dintr-un circuit electric şi să alăturăm cele două jumătăţi aşa ca acelaşi curent să treacă succesiv prin fiecare porţiune, dar în sens contrar. Experienţa ne arată că un ac magnetic aşezat în apropierea acestor curenţi alăturaţi, rectilinii, egali şi de sens contrar, nu este deviat. Deci cei doi curenţi exercită în fiecare punct forţe magnetice egale şi direct opuse, a căror efect se anulează. Efectul magnetic al unui curent rectiliniu mai poate fi anulat şi de un curent sinuos care e de sens contrar, dar care are aceeaşi intensitate şi aceleaşi capete. Trebuie însă ca sinuozităţile să fie mici şi să nu înfăşoare curentul rectiliniu.

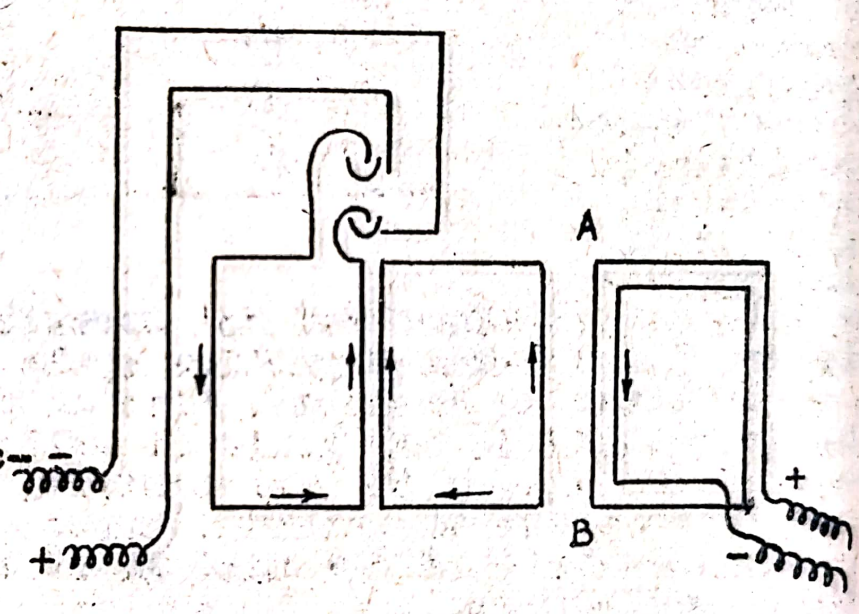


b) Se ia un cadru dreptunghiular pe care se înfăşoară un fir izolat prin care trece curentul electric. O a doua porţiune de curent, mobilă, e alcătuită dintr-un fir conductor, îndoit în formă de dreptunghiu, atîrnat de un fir lung şi subţire de mătase. Capetele libere ale firului conductor sînt îm-



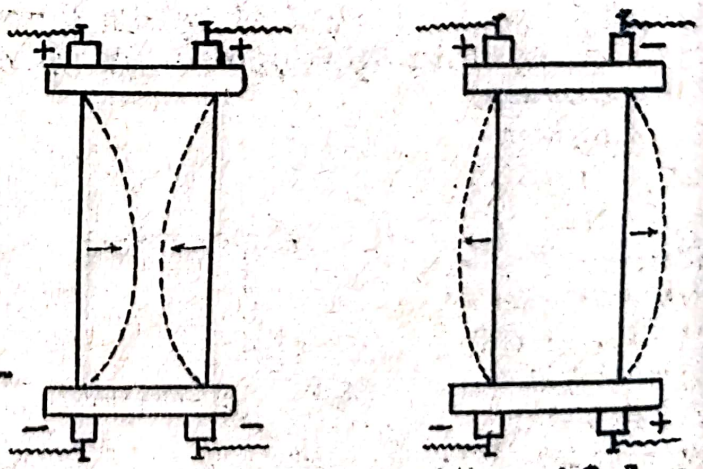
plîntate în două jghiaburi circulare, concentrice şi izolate unul de celălalt. Dacă apropiem paralel de o latură a curentului mobil o latură a curentului fix, vom obţine o atracţie sau o respingere a curentului mobil, după cum ambii curenţi în porţiunile de curenţi vecine sînt de acelaşi sens sau de sens contrar.

c) Dar de oarece experienţa precedentă nu este aşa de demonstrativă, deoarece cadrul mobil se orientează sub acţiunea magnetismului terestru, Ampère a imaginat circuitul mobil de curent astatic format din două porţiuni încrucişate, traversate de sens contrar, aşa că acţiunea magnetismului terestru asupra circuitului total, este nulă.

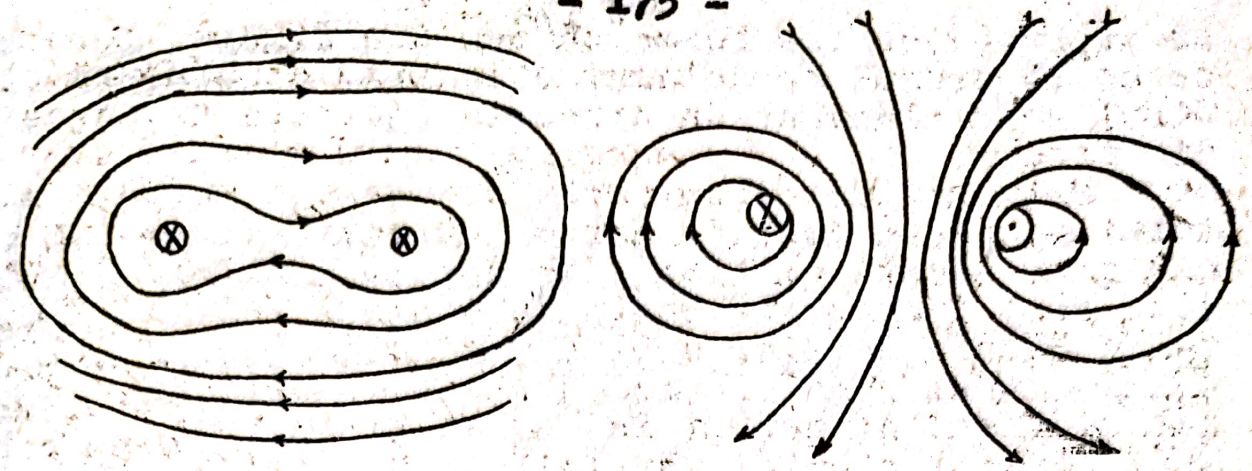


Se realizează astfel un cadru mobil ce este supus numai la acţiunea curentului ce circulă prin cadru fix AB.

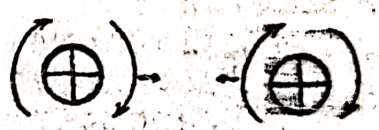
O experienţă şi mai simplă se poate face cu două circuite rectilinii formate din fire subţiri şi destul de mobile. Se observă că dacă în ambele circuite, curentul circulă în acelaşi sens, ele se vor apropia, iar dacă circulă în sens contrar, se vor depărta (se resping).



Această acţiune reciprocă se poate explica cu ajutorul tensiunilor şi presiunilor laterale ale liniilor de forţă care cu ajutorul piliturii de fier se reprezintă astfel :



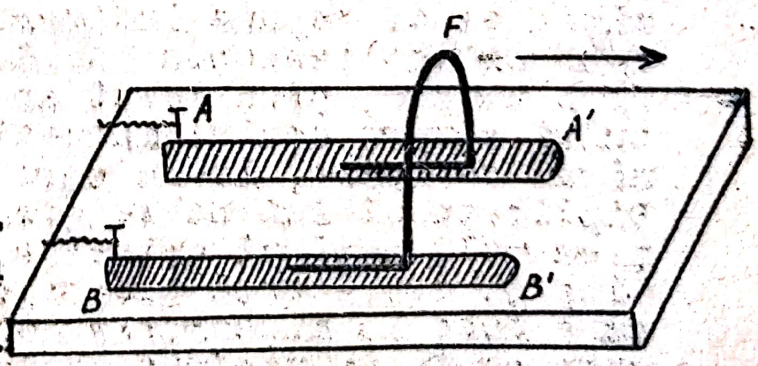
In prima figură se vede că ambii curenţi sînt înconjuraţi de linii comune de forţă. Aceste linii tind să se contracte în lungime şi prin aceasta scurtare se antrenează şi conductorii apropiindu-i unul de altul. Intre doi curenţi ce circulă în sens opus (Fig.din dreapta) liniile de forţă magnetică au acelaşi sens : presiunea laterală care există transversal pe linia de forţă, respinge curenţii unul de altul şi îndepărtează conductorii. O explicaţie foarte simplă se poate da şi astfel : presupunînd că doi curenţi circulă în acelaşi sens, înseamnă că şi liniile lor de forţă vor fi tot în acelaşi sens. Insă corectînd direcţia acestor linii între cei doi conductori prin care circulă curentul electric, se observă că ele vor fi de sens contrar, deci se vor atrage.



Desigur invers se vor petrece lucrurile pentru doi curenţi de sens contrar.

4) <u>Acţiunea curentului asupra lui însuşi</u>

Un circuit străbătut de un curent electric, este aşezat întotdeauna în propriu său cîmp magnetic. Pentru a proba această acţiune se face următoarea experienţă: într-o plăcuţă de lemn se sapă două şănţuleţe paralele (AA' şi BB') care se umple cu mercur şi se pun în contact cu cei doi poli ai unei surse de curent continuu. In aceste două şănţuleţe pluteşte un fir



de cupru (f)ce are forma că cea din figură. Imediat ce se dă drumul curentului electric, se observă că firul se deplasează în direcţia indicată de săgeata din figură.

Prin acţiunea reciproca dintre doi curenţi electrici se poate explica astfel atracţia dintre un magnet şi o bucată de fier : în magnet orbitele electronice sînt îndreptate toate în acelaşi fel, în timp ce în bucata de fier orbitele electronice se orientează astfel numai în momentul apropierii dintre magnet şi fier. Atunci şi în magnet şi în bucata de fier avem curenţi atomici paraleli şi de acelaşi sens.Potrivit teoriei lui Ampère asupra acţiunilor reciproce dintre curenţi, atomii se vor atrage, deci bucata de fier va fi atrasă de magnet.

In rezumat,acţiunile reciproce dintre curenţi şi magneţi se explică prin interacţiunile dintre două cîmpuri : unul creat de magnet şi altul creat de curentul electric. După cum unul dintre cîmpuri este fix şi celălalt mobil, vom avea acţiunile respective.

Pe acelaşi principiu al interacţiunii dintre cele două cîmpuri, se construiesc aparatele numite galvanometre. Vom deosebi astfel două feluri de galvanometre :

- galvanometre cu magnet mobil şi cadru fix;
- galvanometre cu magnet fix şi cadru mobil.

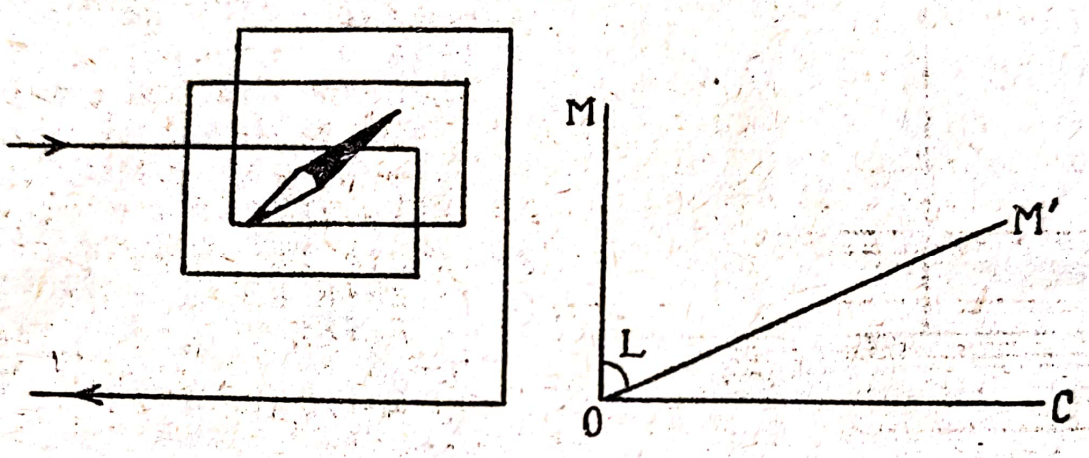
Galvanometrele cu magnet mobil şi cadru fix au ca principiu de funcţionare pe de o parte acţiunea curenţilor asupra magneţilor, iar pe de altă parte faptul următor: cînd o sîrmă de cupru prin care trece un curent electric este adusă de mai multe ori în jurul unui ac magnetic, acul deviază mai mult decît dacă este influenţat de curentul electric ce trece numai printr-un singur fir liniar de sîrmă deoarece fiecare porţiune din curent abate acul din poziţia sa de repaus indiferent de faptul dacă firul este situat deasupra sau dedesubtul acului magnetic. Prin urmare, prin acest aranjament, acţiunea curentului asupra acului magnetic creşte şi anume cu numărul de spire, lucru care l-am văzut aplicat la multiplicatorul lui Schweiger. Dacă se măreşte însă prea mult numărul spirelor, se măreşte în acelaşi timp şi rezistenţa electrică a circuitului, fapt care duce la micşorarea intensităţii curentului,ceeace ar fi un neajuns pentru măsurători, aşa că se alege un fir îndoit în formă de cadru, cu o lungime

convenabilă.

In deobşte un astfel de galvanometru este construit din :

- un cadru fix a cărui ac este aşezat perpendicular pe planul meridianului magnetic terestru;
- un ac magnetic mobil aşezat orizontal ce este atîrnat în partea centrală a cadrului, printr-un fir de mătase fără torsiune.

In poziţia sa de repaus, acul magnetic se aşează sub influenţa cîmpului magnetic terestru, în acelaşi plan cu cîmpul magnetic terestru şi deci planul cadrului face cu planul acului magnetic patru unghiuri diedre. Să notăm cu OM planul acului magnetic



şi cu OC planul cîmpului magnetic al cadrului. Cînd firul cadrului este străbătut de un curent, acesta va produce un cîmp magnetic ce este perpendicular pe planul acului magnetic şi paralel cu planul cadrului. Sub influenţa cîmpului magnetic al cadrului, acul magnetic va suferi o deviere din poziţia sa de repaus. Asupra acului se exercită astfel două forţe:

- o forţă a cîmpului magnetic al cadrului (OC);
- o forţă a cîmpului magnetic al meridianului terestre (OM).

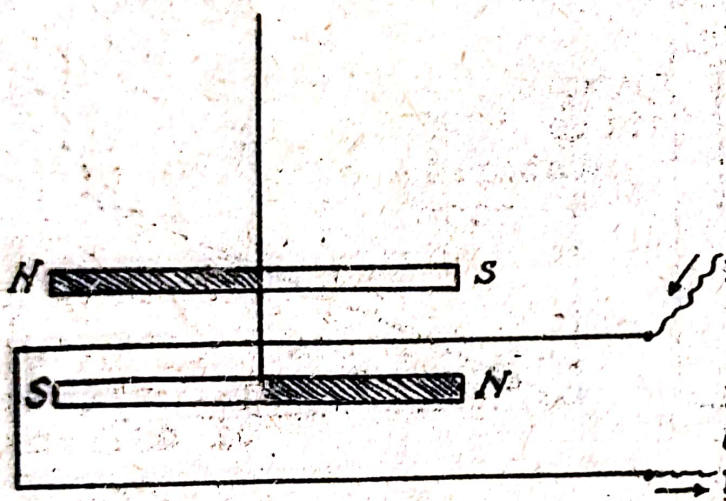
Poziţia de echilibru în această situaţie (OM') este astfel ca planul acului magnetic face cu planul meridianului magnetic terestru, un unghi mai mare sau mai mic, după cum este valoarea cîmpului electromagnetic al cadrului. Acest unghi fiind deci proporţional cu forţa cîmpului electromagnetic al cadrului, înseamnă că va fi proporţional şi cu intensitatea curentului ce trece prin cadru şi care creează cîmpul magnetic, şi cu numărul de spire (pînă la o anumită limita) a cadrului.

Un astfel de galvanometru va fi cu atît mai sensibil cu cît :

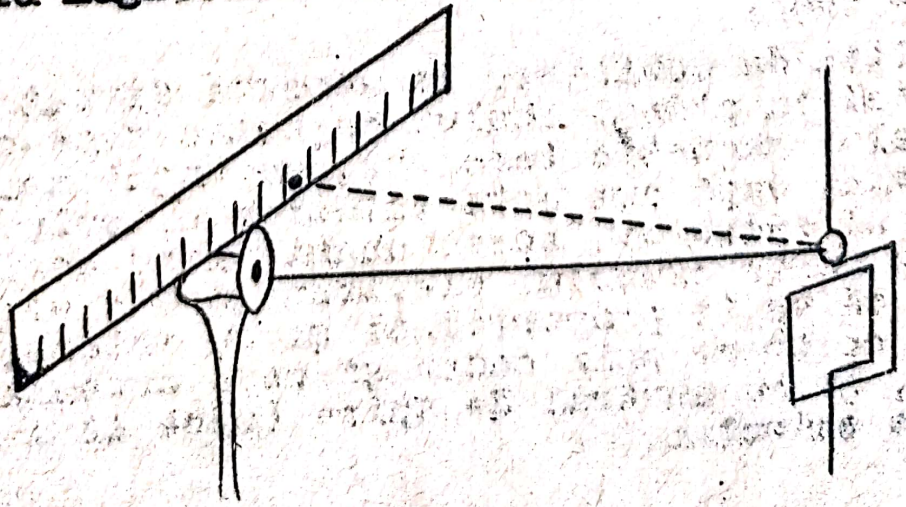
1) Unghiul L corespunzator unei anumite intensităţi va fi mai mare;

2) cu cît se reduce mai mult cu putinţă acţiunea ce o exercită asupra acului magnetic, cîmpul magnetic al meridianului terestru. Acest rezultat se obţine fie întrebuinţînd un magnet director ce produce în regiunea în care se află acul magnetic, un cîmp magnetic cît se poate de egal dar de sens contrar cîmpului magnetic al meridianului terestru, fie întrebuinţînd sistemul de ace astatice.

Acest sistem este format din două mici ace magnetice egale ca intensitate a cîmpului magnetic, aşezată paralel, dar avînd însă, unul sub altul, poli de semn contrar. Ambele ace sînt fixate pe acelaşi suport cu care se mişcă solidar. In acest fel, cu aceeaşi forţă cu care unul dintre ele este atras de forţa magnetică a pămîntului, cu aceeaşi forţă va fi respins celălalt. In practică însă acest lucru nu este perfect realizabil deoarece nu se pot construi doi magneţi care să aibă aceeaşi intensitate magnetică. De obicei unul dintre ace se aşează în interiorul cadrului, celălalt în afara lui.



3) Sensibilitatea se măreşte indirect utilizînd sistemul de iluminare Poggendorr-lord Kelvin : deviaţia magnetului se face simultan cu deviaţia

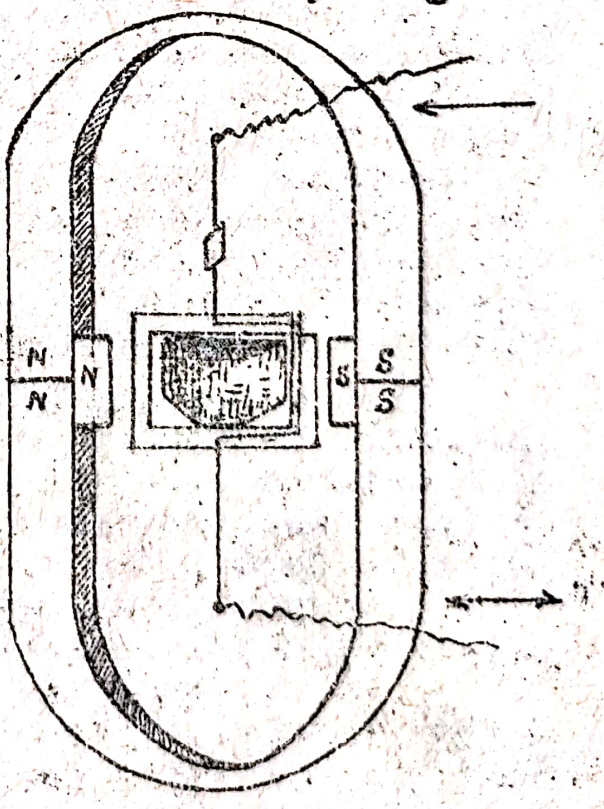


unei oglinzi ce se găseşte fixată de magnet. Pe oglindă se trimite un fascicol de lumină care se reflectă apoi sub forma unui spot luminos pe un ecran transparent ce este aşezat la distanţa de 1 m.Ori cît de mică ar fi deviaţia magnetului şi în general a părţii mobile şi deci şi a oglinzii, la distanţa de 1 m.,această deviaţie este amplificată de o sută de ori sau chiar mai mult.

Ca tipuri de astfel de galvanometre avem galvanometrul Nobili (pentru cercetări curente) şi galvanometrul Thomson (lord Kelvin) ce permite măsurători pînă la 10^{-12} Amp.

Galvanometrele cu magnet fix şi cadru mobil

Au ca principiu de funcţionare acţiunea magneţilor asupra curenţilor. Un astfel de galvanometru este alcătuit dintr-un magnet fix, permanent şi foarte puternic, în formă de potcoavă, aşezat vertical. Intre ramurile lui se află un cadru dreptunghiular mobil ce este atîrnat tot vertical între două fire metalice verticale şi subţiri. Aceste fire servesc şi de axă de rotaţie a cadrului şi ca electrozi pentru intrarea şi ieşirea curentului. In interiorul cadrului, dar independent de acesta, se găseşte un cilindru de fier moale, care magnetizîndu-se prin influenţă, măreşte fluxul de forţă magnetică şi deci şi cîmpul dintre polii magnetului fix unde se găseşte cadrul.Planul cadrului este paralel cu liniile de forţă dintre polii magnetului cînd prin circuit nu trece curent electric.



Dacă prin circuitul cadrului trece un curent, cadrul(în special părţile lui verticale) este supus unei acţiuni electromagnetice exercitată de către cîmpul magnetic al magnetului. Sub influenţa ei cadrul se învîrte în jurul firului vertical şi tinde să se aşeze astfel...

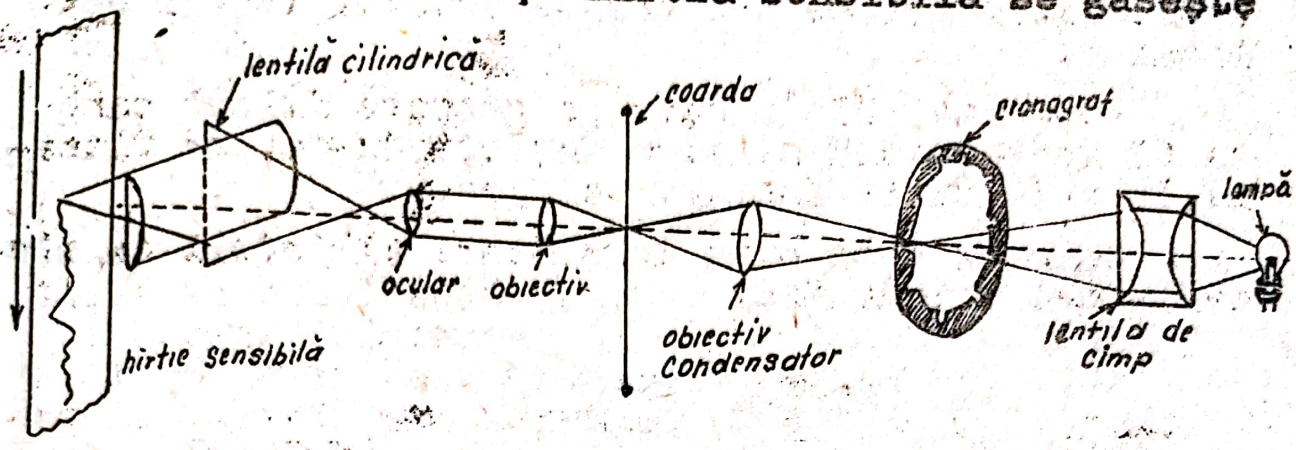
ca fluxul de forţă creat de curent să fie paralel şi de acelaşi sens cu fluxul de forţă al magnetului fix. Planul cadrului tinde să devie perpendicular pe direcţia cîmpului dintre polii magnetului, din paralel cum era la început, pentru ca astfel fluxul de forţă ce străbate cadrul să fie maxim. Cînd cadrul se învîrte, răsuceşte firele metalice de torsiune ce tind să readucă firul şi cadrul în poziţia iniţială. Forţele de torsiune cresc proporţional cu unghiul cu care se învîrte cadrul, astfel că la un moment dat, cînd reacţiunea acestor forţe egalează acţiunea electromagnetică ce o exercită magnetul fix asupra cadrului, acesta din urmă se va opri. Deci în acest sistem de galvanometru, forţa antagonistă care se opune forţei electromagnetice nu este de aceeaşi origine (ca în cazul galvanometrelor cu magnet mobil), ci este de natură pur mecanică. Ca tip de astfel de galvanometru este cel imaginat de Deprez şi d'Arsonvall.

Un alt sistem este galvanometrul cu coardă a lui Einthover ce este foarte mult întrebuinţat în cercetările de fiziologie. El este alcătuit dintr-un fir de platină sau cuarţ argintat cu un diametru de 2-4μ ce este întins între polii unui electromagnet puternic ce este străbătut de un canal în direcţia cîmpului magnetic. Prin acest canal se trimite un fascicol luminos care întîlneşte firul şi străbate un sistem optic, proiectînd pe hîrtia fotografică imaginea mărită a firului. Cînd un curent foarte slab trece prin fir, acesta se deplasează. Din cauza fineţii lui are o inerţie extrem de mică aşa că urmăreşte toate variaţiile curentului. O diferenţă de potenţial de 10^{-8} v. poate produce pe hîrtia sensibilă o deviaţie de 1 cm. Acest aparat a pătruns în clinică în dispozitivul cunoscut sub numele de electrocardiograf.

Electrocardiograful Boulitte este unul dintre aparatele întrebuinţate pentru punerea în evidenţă şi studierea curenţilor cardiaci. Pe lîngă părţile deja descrise (electromagnet, fir argintat) el mai este format din :

- dispozitivul optic ce se compune din : o sursă luminoasă foarte intensă (o lampă de 12 v.);
- un condensator ce formează un fascicol luminos ce este primit mai departe de un obiectiv condensator ce condensează lumina într-un punct al corzii; imaginea corzii este reluată de un alt sistem

optic format dintr-un obiectiv şi un ocular ce măresc de circa 500 de ori la o distanţă de ecran de 0,75 m. Între ecran şi hîrtia sensibilă se găseşte



o lentilă cilindrică ce proiectează pe hîrtie o linie fixă : imaginea corzii şi lumina primită de ecran. Deplasarea acestei imagini pe hîrtia sensibilă formează traseul care se va înscrie.

- O cutie de etalonaj care permite shuntarea corzii, compensarea diferenţelor de potenţial permanente ale subiectului produse de curenţii biologici ai pielii, etalonarea tensiunii corzii şi de a lua diferite derivaţii de pe membrele individului. Cutia de etalonaj cuprinde astfel :

La stînga un inversor de curent pentru pilă(1);

Lîngă inversor, un intrerupător (2) ce formează shunt care, cînd se manevrează progresiv dela poziţia "repaus" la poziţia "lucru", pune mai întîi coarda în circuit, apoi îi dă o sensibilitate din ce în ce mai mare;

Distribuitorul (3) pentru cele trei derivaţii. Mai are şi un plot "R.E". Pe acest plot, coarda numai este în legătură cu subiectul, dar cu o rezistenţă fixă prin care poate trece milivoltul, fapt necesar pentru a ne putea da seama de tensiunea corzii şi pentru a o regla în stare de repaus;

O cheie de scurt circuit (4) care permite trecerea în coardă a unui curent de 1 milivolt;

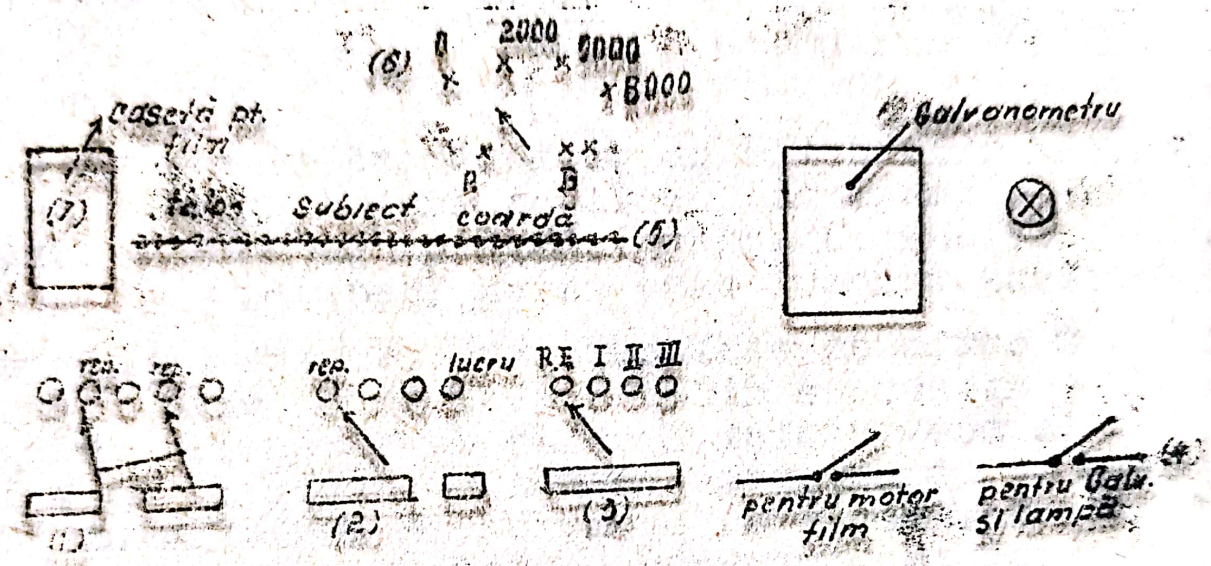
Un rheostat cu cursor (5) ce permite compensarea curenţilor cutanaţi.

- O rezistenţă adiţională (6) cu valorile de 0-2000-5000-8000 ohmi, ce serveşte ca în cazul de tremurături ale muşchilor (la bătrîni sau la bolnavii de parkinson), să introducem în circuit una sau alta din aceste rezistenţe pînă ce coarda nu mai os-

cileazã din cauza curenţilor biologici supra-adãugaţi. In condiţii normale nu lucrãm cu aceastã rezistenţã cãci se micşoreazã sensibilitatea aparatului.

- Caseta (7) în care se gãseşte filmul care va fi impresionat şi care învîrtindu-se, se fixeazã în altã cutie aşezatã mai jos.

Motorul care pune în mişcare cilindrii ce mişcã filmul fotografic.



Schema electricã a aparatului este formatã din urmãtoarele :

- un circuit principal ce merge dela electrozi la coardã. Intre cele douã ramuri ale circuitului se intercaleazã un shunt care în poziţia de repaus, taie circuitul, dar care pe mãsurã ce alunecã, pune în circuit coarda, shuntînd-o progresiv printr-o rezistenţã ce merge dela zero la infinit. Cînd rezistenţa shuntului este zero, nu trece nici un curent prin coardã şi cu cît creşte rezistenţa, cu atît creşte şi curentul din coardã.

- Un potenţiometru care este dispus pe una din laturile curentului principal şi care la rîndul lui, cuprinde :

O pilã de 1 v. cu un inversor de curent;
O rezistenţã de 5 ohmi, cu cheie;
Un reostat cu cursor ce are 250 ohmi;
O rezistenţã fixã de 4745 ohmi.

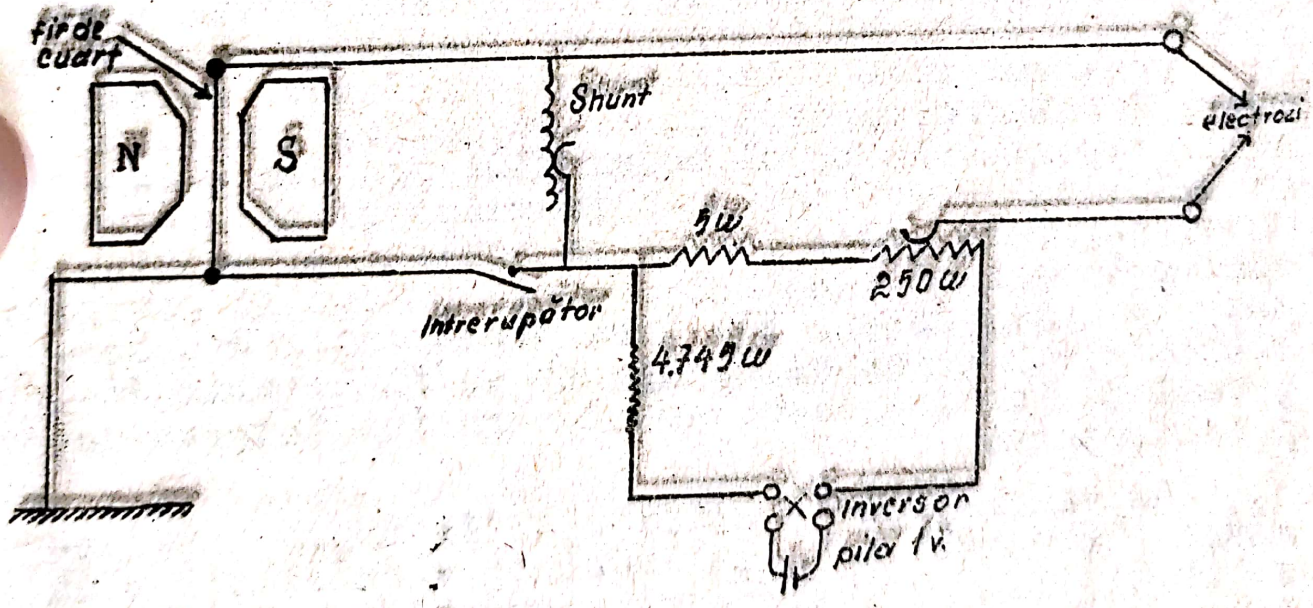
Potenţiometrul are urmãtoarele roluri :
curentul pilei poate circula în ambele sensuri datoritã inversorului de curent;

se poate grada curentul prin rheostat;
se poate crea astfel un curent egal şi de sens contrar curentului permanent al subiectului de cercetat, curent care se poate astfel anula. Drept urmare se menţine coarda în mijlocul ecranului şi va fi influenţată numai de variaţiile de potenţial de cercetat (ale muşchiului cardiac).

Rezistenţa totală a potenţiometrului este de 5000 ohmi, voltajul pilei etalon fiind de 1 v. Din legea lui ohmi se află că I = 1/5000. Căderea ohmică a diferenţei de potenţial dela cele două extremităţi ale rezistenţei de 5 ohmi cînd această rezistenţă nu este scurt-circuitată de cheie, va fi : E = I.R = 5.1/5000 = 1/1000 v, adică 1 milivolt.

Deci ori de cîte ori apăsăm pe cheie, se produce în circuitul corzii un curent de un milivolt ce permite de a etalona tensiunea acesteia după convenţia universală adoltată, adică o deviaţie de 1cm pentru 1 mv.

In fine se mai vede că una din extremităţile corzii ca şi masa polară a galvanometrului, sînt legate cu pămîntul pentru a evita tulburările datorite descărcărilor electrostatice.



Tehnica de lucru :

- se montează electrozii, cursorul rheostatului (5) se fixează la stînga, iar (2) se pune la indicaţia "repaus";
- se pune distribuitorul (3) pe derivaţia I;
- se închide întrerupătorul de excitaţie al galvanometrului şi al lămpii (4) care dacă se aprinde, înseamnă că circulă curent prin electromagnet;

- se mişcă inversorul pilei la stînga sau la dreapta, neştiind dinainte care este sensul curentului de piele al subiectului;
- se învîrteşte shuntul pe primul plot, apoi pe al doilea;
- se apasă pe cheia de scurt-circuit şi se examinează deviaţia corzii.

In timp ce se învîrte shuntul, se vede că se deplasează coarda la dreapta sau la stînga sub influenţa curenţilor cutanaţi. Deaceea alunecăm cursorul (5) spre dreapta pînă ce coarda rămîne în poziţia iniţială, ea ne mai fiind supusă decît acţiunii curenţilor cardiaci;
- se învîrte shuntul la indicaţia "lucru". Se apasă pe cheie şi se reglează tensiunea corzii pentru a avea o deviaţie de 1 cm în momentul apăsării;
- se pune motorul care mişcă filmul, în funcţiune. In general este suficient 4-5 sec.;
- se pune apoi distribuitorul pe derivaţia a doua şi se lucrează la fel ca mai înainte; apoi pe derivaţia a 3-a.

Individul de examinat trebuie să fie în repaus muscular absolut. Să avem grijă dinainte ca deviaţiile corzii să se facă la stînga cînd privim spre ecran. Individul să fie perfect izolat de pămînt.

Deoarece acest electrocardiograf este mare, ocupînd o întreagă masă şi fiind astfel imposibil de transportat la patul bolnavului aşa cum o cere de multe ori practica, s-au imaginat şi alte electrocardiografe, care bazate pe acelaşi principiu, sînt mult mai mici şi mai uşoare, putînd fi astfel uşor de transportat. Ele însă pierd puţin din sensibilitate. Un astfel de aparat va fi descris împreună cu tehnica electrocardiografiei într-un capitol separat.

Galvanometrele sensibile sufăr de un mare neajuns : prezintă un timp îndelungat oscilaţii pînă se stabilizează, lucru care necesită o grămadă de timpi morţi. Aceste oscilaţii se petrec astfel : un galvanometru în momentul în care este străbătut de curent, primeşte un impuls în echipagiul său mobil şi capătă astfel o energie oarecare în virtutea căreia nu se fixează imediat în poziţia de echilibru, ci oscilează pînă cînd această energie este eliminată. Cum suspensia echipagiului mobil este foarte de-

- se mişcă inversorul pilei la stînga sau la dreapta, neştiind dinainte care este sensul curentului de piele al subiectului;
- se învîrteşte shuntul pe primul plot, apoi pe al doilea;
- se apasă pe cheia de scurt-circuit şi se examinează deviaţia corzii.

In timp ce se învîrte shuntul, se vede că se deplasează coarda la dreapta sau la stînga sub influenţa curenţilor cutanaţi. Deaceea alunecăm cursorul (5) spre dreapta pînă ce coarda rămîne în poziţia iniţială, ea ne mai fiind supusă decît acţiunii curenţilor cardiaci;
- se învîrte shuntul la indicaţia "lucru". Se apasă pe cheie şi se reglează tensiunea corzii pentru a avea o deviaţie de 1 cm în momentul apăsării;
- se pune motorul care mişcă filmul, în funcţiune. In general este suficient 4-5 sec.;
- se pune apoi distribuitorul pe derivaţia a doua şi se lucrează la fel ca mai înainte; apoi pe derivaţia a 3-a.

Individul de examinat trebuie să fie în repaus muscular absolut. Să avem grijă dinainte ca deviaţiile corzii să se facă la stînga cînd privim spre ecran. Individul să fie perfect izolat de pămînt.

Deoarece acest electrocardiograf este mare, ocupînd o întreagă masă şi fiind astfel imposibil de transportat la patul bolnavului aşa cum o cere de multe ori practica, s-au imaginat şi alte electrocardiografe, care bazate pe acelaşi principiu, sînt mult mai mici şi mai uşoare, putînd fi astfel uşor de transportat. Ele însă pierd puţin din sensibilitate. Un astfel de aparat va fi descris împreună cu tehnica electrocardiografiei într-un capitol separat.

Galvanometrele sensibile sufăr de un mare neajuns : prezintă un timp îndelungat oscilaţii pînă se stabilizează, lucru care necesită o grămadă de timpi morţi. Aceste oscilaţii se petrec astfel : un galvanometru în momentul în care este străbătut de curent, primeşte un impuls în echipagiul său mobil şi capătă astfel o energie oarecare în virtutea căreia nu se fixează imediat în poziţia de echilibru, ci oscilează pînă cînd această energie este eliminată. Cum suspensia echipagiului mobil este foarte de-

licată, aceste oscilaţii s-ar prelungi mult timp dacă n-ar fi amortizate prin dispozitive speciale. Trebuie să facem astfel galvanometrul aperiodic, adică fără să aibă perioade de oscilaţii.

Aperiodicitatea se poate căpăta prin :

- mărind rezistenţa aerului prin fixarea de echipagiul mobil, a unor palete foarte uşoare de aluminiu, sau aripioare de libelulă;

- se înfăşoară sistemul astatic cu o masă metalică, în care, prin mişcarea lor, se dezvoltă curenţi induşi care tind să se opuie mişcării şi care consumă rapid energia sistemului oscilant. Pentru aceasta este destul de a înfăşura bobinele galvanometrului pe un miez cilindric de cupru în care oscilează sistemul astatic;

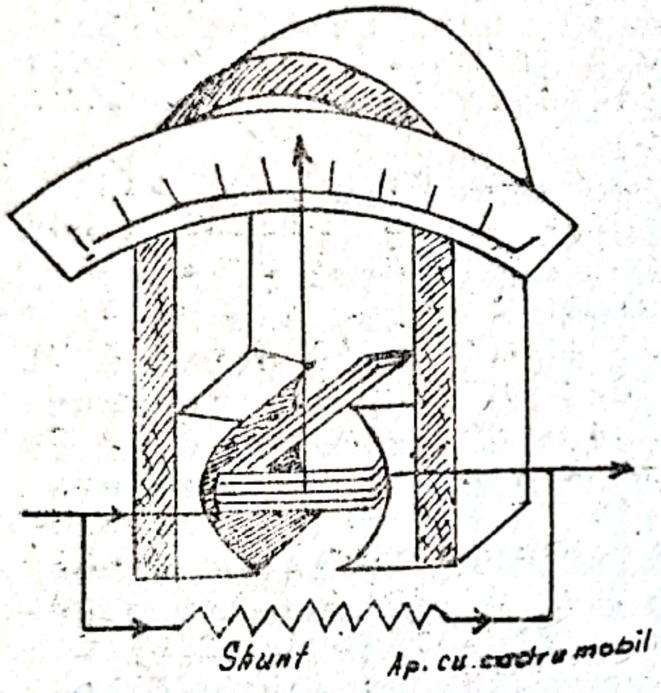
- La unele galvanometre sensibile acul sau cadrul se fac ceva mai greoaie. Sub influenţa curentului de descărcare, acul sau cadrul primeşte un impuls ce-l face să devieze din poziţia sa de echilibru. Pentru că partea mobilă este greoaie şi pentru că descărcarea durează un timp foarte puţin (0,001'), această parte începe să se mişte după ce a încetat curentul, astfel că impulsul sau viteza ce o capătă echipagiul mobil să fie datorit întregei cantităţi de electricitate. Deviaţia aceasta este trecătoare. Un astfel de galvanometru se numeşte balistic deoarece perioada de oscilaţie a lui fiind scurtă, iar cantitatea de electricitate trebuind să treacă prin aparat într-un timp şi mai scurt, sistemul mobil trebuie să se pună în mişcare ca printr-o ciocnire sau impulsie bruscă întocmai ca la un proiectil. Odată sistemul pus în mişcare, forţa impulsivă nu mai acţionează. Un astfel de galvanometru măsoară cantitatea de electricitate indusă.

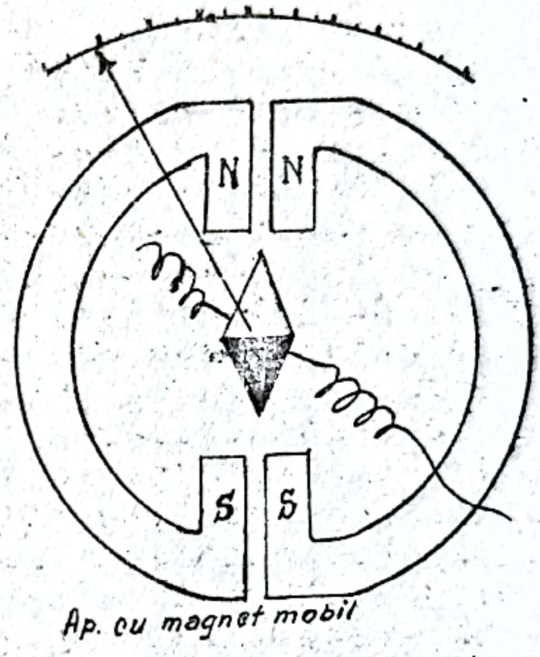
Aparatele de măsură propriu zise

Galvanometrele servesc la punerea în evidenţă a curentului electric. Sînt însă unele galvanometre care servesc la măsurarea curentului electric. In acest caz ele se numesc respectiv ampermetre, voltmetre şi watmetre. Construcţia lor se bazează pe faptul că devierea părţii mobile depinde de intensitatea curentului ce străbate echipagiul mobil. Măsurînd unghiul de deviere al acului, printr-o gradaţie adacuată se măsoară caracteristicile unui curent. Voltmetrele măsoară în realitate tot intensi-

tatea curentului, dar rezistenţa lor fiind mare şi fixă, intensitatea curentului care le traversează variază cu voltajul. Printr-un etalonaj prealabil, intensitatea este transformată în volţi.

Aceste aparate sînt galvanometre de mai mică precizie, dar mult mai utilizate în practică. Ele nu diferă între ele decît prin rezistenţa bobinelor. Intocmai ca şi galvanometrele, pot fi cu magnet mobil şi cadru fix sau invers, cu cadru mobil şi magnet fix.





Ca un astfel de aparat de măsură să fie bun, se cer următoarele condiţiuni :

- să fie aperiodic pentru a permite citiri imediate;
- să aibă diviziuni cu spaţii destul de mari pentru a se putea aprecia fracţiunile curentului de măsurat;
- să funcţioneze şi în plan orizontal şi în plan vertical.

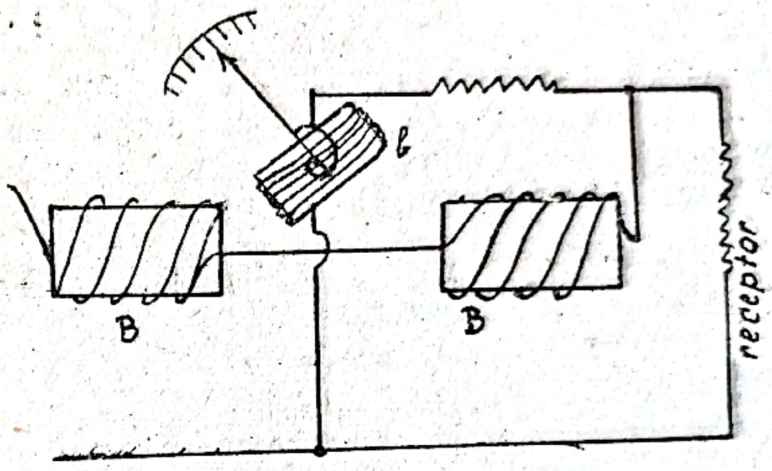
Deosebirile dintre ampermetre şi voltmetre constă în :

- ampermetrele măsoară intensitatea, voltmetrele măsoară tensiunea;
- ampermetrele au o rezistenţă interioară mică iar voltmetrele una mare;
- ampermetrele se montează în serie iar voltmetrele în paralel între două sîrme cu o diferenţă

oarecare de potenţial între ele.

Aceste aparate de măsură bazate pe acest principiu, nu pot măsura decît caracteristicile curentului continuu. Pentru curentul variabil s-au imaginat alte aparate (termice, termoelectrice, electromagnetice, etc).

Watmetrele sînt aparate ce măsoară puterea curentului electric consumată de un receptor. Iată din ce este compus un astfel de aparat :



Curentul I ce trece prin receptor, trece şi printr-o bobină (B) cu rezistenţă mică, montată în serie cu receptorul. A doua bobină (b) cu rezistenţa mare, este legată în paralel cu bornele receptorului. Astfel prima bobină produce un cîmp magnetic proporţional cu I, iar a doua bobină în acest cîmp, produce un cîmp proporţional cu U dela bornele receptorului. Deci deviaţia bobinei (b) va fi proporţională cu U.I, adică cu puterea consumată de receptor.

Efectul biologic

Curentul continuu aplicat asupra organismului animal provoacă o serie întreagă de modificări, dintre care cele mai importante le grupăm astfel :

1) Asupra nervilor sensitivi. Trecerea curentului continuu se acompaniază de senzaţii de pişcătură, căldură şi chiar arsură, la nivelul contactului cu electrozii. Aceste senzaţii sînt mai puternice la polul negativ. Dacă circulă curentul mai mult timp, senzaţiile diminuă, probabil datorită faptului că obosesc centrii sensitivi. Cînd un segment din membru este cuprins între doi electrozi, se capătă o senzaţie de presiune. De remarcat faptul că la unii indivizi, curentul continuu provoacă o diminuare a sensibilităţii.

2) Asupra nervilor gustativi si salivari. Aplicat pe limbă sau traversînd cavitatea bucală, acest curent provoacă senzaţia gustativă specială, stiptică, numită "gust de fier". Dacă punem separat polii unei baterii pe limbă, la polul + se simte un gust acru şi fierbinte înţepător, iar la polul- se capătă un gust metalic, astrigent. Curentul continuu mai provoacă o creştere a secreţiei salivare, fie prin excitarea directă a glandei prin excitarea nervilor secretori, fie printr-un act reflex.

3) Asupra nervilor vasomotori. Se produce o vasodilataţie cu ridicarea temperaturii cutanate, fenomen mai accentuat la polul + decît la cel -.

4) Asupra nervilor periferici. Polul + are o acţiune calmantă deprimantă; deci va fi întrebuinţat ca sedativ. Polul - este din contra un stimulant, întrebuinţîndu-se astfel în scop de reînviere a fenomenelor trofice a unor organe(glanda mamară).

5) Vertijul voltaic. Dacă aplicăm doi electrozi pe cap în regiunile temporale sau mastoidiene, se capătă următoarele : la 1-2 mA bolnavul acuză senzaţii de ameţeli; dela 2-5 mA senzaţia se accentuează, apare un gust metalic, slăbiciune şi greaţă asemănătoare răului de mare. In acelaşi timp se produc şi fenomene obiective : nystagmusul galvanic şi înclinarea capului.

Nystagmusul galvanic se traduce printr-o deviaţie conjugată a ochilor, ce se efectuează încet

spre polul +, apoi brusc prin mici secuse nistagmice rotatorii spre polul - unde rămîn pînă la deschiderea curentului.

Inclinarea capului se face spre anod, fenomen cunoscut sub numele de vertij voltaic. Dacă se creşte intensitatea, în cele din urmă subiectul şcade pe această parte, fenomen care este datorit excitării ramurii vestibulare a nervului acustic, ce ne dă senzaţia de spaţiu, echilibru. In cazuri patologice se constată o rezistenţă la vertij (o hipoexcitabilitate), înclinarea capului survenind la intensităţi mult mai mari : 10-12 mA. Acest fapt se întîmplă în cazurile de presiune a l.c.r.-ului. Cînd avem o leziune a aparatului vestibular, capul se apleacă în totdeauna în spre partea bolnavă, indiferent de sensul curentului. Cînd afecţiunea este bilaterală, înclinarea se face spre partea mai afectată sau unde leziunea este mai cronică.

6) Narcoza electrică. Se capătă cu un curent cu o intensitate de maximum 4 mA şi cu o tensiune joasă de 6-14 v., cu întreruperi de curent cuprinse între 100-200 ori pe secundă şi la fiecare stabilire, curentul să nu circule mai mult de 1/1000 sec. Primul a realisat-o Leduc pe iepuri, cărora le aplică electrodul negativ pe cap, iar cel pozitiv pe spinare. Iepurele este cuprins întîi de contracturi, rigiditate, cade pe o parte şi apoi doarme, somnul fiind acompaniat de o anestezie ce durează 3 ore şi peste. La om acest procedeu n-a putut substitui anestezia chimică din cauza pericolului electrocutării, căci dozele de curent necesare anesteziei sînt foarte apropiate de limita mortală.

7) Asupra schimburilor nutritive. Provoacă acţiuni chimice în intimitatea ţesuturilor, nu numai la nivelul electrozilor. Aceasta este electroliza interstiţială ce este strîns legată de fenomenul de polarizaţie. Cu un curent de o mică intensitate, Guilloz a arătat că muşchii scoşi din organism, prezintă o creştere netă a schimburilor respiratorii prin raportul dintre oxigen şi acidul carbonic.

8) Produce electrotonusul. Aceasta constă pe de o parte în producerea unui curent în afara de zona cuprinsă între cei doi electrozi (electrotonusul fizic), iar pe de altă parte, în modificarea

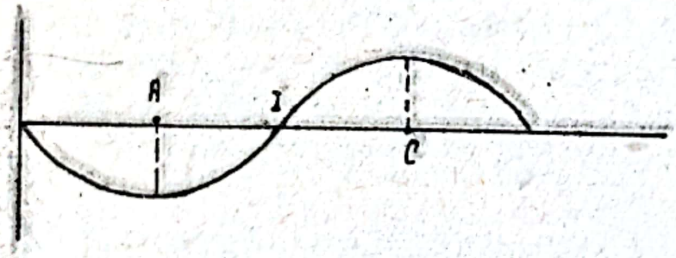
excitabilităţii şi a conductibilităţii în vecinătatea electrozilor(electrotonusul fiziologic).

Datorită importanţei sale, să cercetăm mai pe larg electrotonusul fiziologic cu cele două feluri de modificări.

a) Modificări de excitabilitate. Se constată că la anod, curentul, numit curent anelectrotonic, este mai puternic decît cel dela catod, zis curent catelectrotonic şi astfel, intensitatea fiind modificată, la electrodul negativ, excitabilitatea este mărită, iar la anod este diminuată. După întreruperea curentului continuu care dă naştere la cel electrotonizant, se produce o modificare pasageră şi de sens invers, a excitabilităţii.

Modificarea excitabilităţii nervoase în regiunea anodică este folosită mult în clinică la tratarea nevralgiilor. De exemplu în cazul unei nevralgii faciale, se acoperă faţa cu un electrod spongios de o formă specială care are deschideri în dreptul cavităţilor capului (a ochilor, a nasului şi a gurii)ce se leagă la polul pozitiv al sursei de curent. Polul negativ poate fi aşezat oriunde, de obicei pe ceafă. Curentul are o intensitate de 60-100 mA, iar şedinţele durează fiecare cam 30-40 minute.

Modificarea excitabilităţii nu se produce numai în regiunile extrapolare, ci şi în spaţiul între anod (A)şi catod (C). Deoarece în jurul catodului există o creştere a excitabilităţii, iar în jurul anodului o scădere a ei, trebuie să existe un punct în care excitabilitatea să nu sufere modificări.Acesta este punctul indiferent (I) şi poziţia lui variază cu intensitatea curentului. Pentru un curent slab este mai apropiat de anod; pentru un curent mai puternic, este mai apropiat de catod; pentru curenţii medii este aşezat la mijlocul spaţiului interpolar. Deci, punctul indiferent se apropie de C şi se depărtează de A cu cît curentul are o intensitate mai mare.

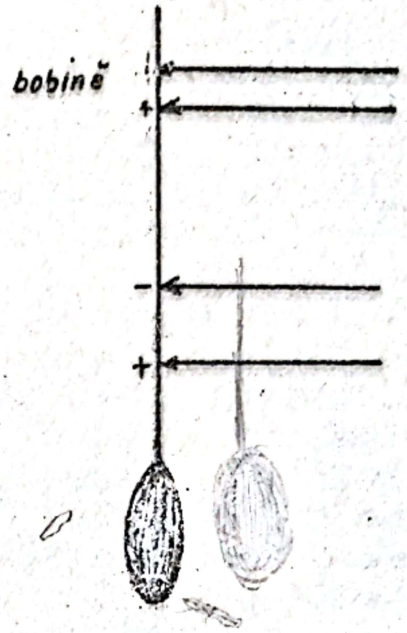


Grafic, variaţiile se prezintă după graficul arătat mai sus, unde ordonatele măsoară creşterea şi respectiv scăderea excitabilităţii de o parte şi

de alta a punctului indiferent.

b) Modificări de conductibilitate. Prin micşorarea excitabilităţii produsă de anelectrotonus, se influenţează direct şi conductibilitatea electrică a nervilor, reducînd-o sau chiar suprimînd-o.

Experienţă : se excită nervul sciatic al unei broaşte cu ajutorul unei bobine de inducţie. Dacă intercalăm pe traiectul nervului un curent voltaic, excitaţiile produse de bobină nu produc contracţii în muşchiul respectiv ca şi cum în regiunea anelectrotonusului nervul a fost secţionat (de unde şi numirea de secţiune fiziologică dată acestui fenomen). Dacă întrerupem curentul electrotonizant, contracţia muşchiului reapare, deci excitabilitatea nervoasă se restabileşte sub acţiunea bobinei de inducţie.



De fapt sub acţiunea curentului electrotonizant, conductibilitatea creşte la închidere la catod şi scade la anod. La deschidere fenomenele se petrec invers. Acest lucru se poate proba tot cu ajutorul labei galvanoscopice, prin excitarea nervului sciatic cu un curent de inducţie cu o intensitate prag. Intercalînd fie catodul, fie anodul între electrozii puşi în contact cu bobina de inducţie şi între muşchi, se constată cele arătate mai sus.

Curenţii electrotonici au următoarele proprietăţi :

- au întotdeauna acelaşi sens ca şi curentul polarizant; 1
- intensitatea lor creşte cu intensitatea curentului polarizant; 2
- intensitatea lor este maximă în vecinătatea sectorului polarizat; 3
- se pot anula (de ex. practicînd o ligatură); 4
- pot fi produşi de curenţi electrici instantanei; 5
- se produce o foarte scurtă inversare a sensului la întreruperea curentului continuu;
- modifică excitabilitatea şi conductibilitatea nervilor. 6

9) Asupra muşchilor netezi. Prin curentul galvanic ritmat se determină destul de uşor contracţii peristaltice ale organelor tubului digestiv (lucru folosit în tratarea constipaţiilor), contracţii ale vezicii urinare şi biliare.

10) Asupra muşchilor striaţi. Produce o contracţie (secusa sau galvanotonusul) fie că se aplică curentul electric direct asupra lor (excitaţia directă), fie că se face prin intermediul nervilor (excitaţia indirectă).

Curentul continuu îşi exercită acţiunea sa la închiderea şi deschiderea circuitului, numai la nivelul electrozilor, regiunea de nerv dintre aceşti poli rămânînd neexcitată. Excitaţia naşte la catod în momentul închiderii circuitului şi la anod în momentul deschiderii. Acest fenomen numit acţiunea polară a curentului continuu a fost pus în evidenţă de Du Bois Raymond astfel : se aplică electrodul negativ pe un muşchi iar electrodul pozitiv pe tendonul respectiv. Contracţia apare numai la închiderea circuitului. Invers se petrec faptele dacă inversăm polaritatea curentului.

Dar şi perioada de stare îşi exercită o acţiune asupra fibrei voluntare, fapt demonstrat prin acţiunea trofică a curentului continuu.

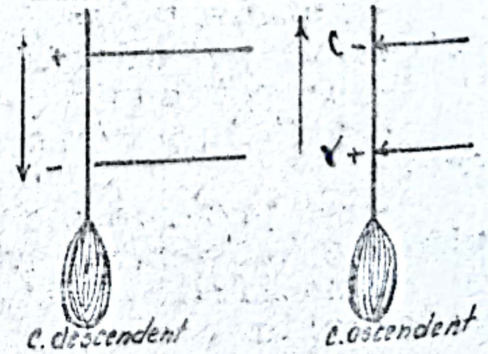
Prin excitarea bipolară se observă :

a) nu se produce nici o contracţie dacă intensitatea este prea mică;

b) se produce o contracţie la închiderea circuitului dacă curentul are o valoare oarecare. Cea mai mică contracţie musculară perceptibilă se numeşte prag, pragul excitaţiei fiind intensitatea minimă care ne dă pragul contracţiei;

c) dacă creştem şi mai mult intensitatea curentului, se constată apariţia de contracţie şi la deschiderea circuitului;

d) pentru curenţii puternici nu se observă decît apariţia unei secuse : sau numai la închidere (în cazul curentului descendent) sau numai la deschidere, în cazul curentului ascendent.



Curentul descendent este curentul ce circulă dela nerv la muşchi, iar cel ascendent, dela muşchi la nerv.

e) cînd creştem şi descreştem progresiv intensitatea curentului, se constată că nu se obţine nici-o contracţie, chiar cu intensităţi mari de curent, de unde legea lui Du Bois Raymond : "excitarea nervilor şi a muşchilor este provocată de starea variabilă a curentului continuu".

Ansamblul primelor 4 observaţii arătate mai sus, constituie "legile contracţiilor" ale lui Pflüger, legi care se pot schematiza astfel :

	Curent ascendent		Curent descendent	
	î.	d.	î.	d.
curent slab	+	-	+	-
curent mijlociu	+	+	+	+
curent tare	-	+	+	-

Aceste legi se explică astfel :

I. Pentru curentul slab contracţia apare numai la închidere deoarece aci se produce pragul de excitaţie.

II. Pentru curentul mijlociu se produce contracţia atît la închidere cît şi la deschidere deoarece se stabileşte pragul şi pentru deschiderea circuitului.

III. Pentru curentul tare lucrurile se complică deoarece intervine fenomenul de electrotonus.

Pentru curentul ascendent :

- la închidere, excitaţia născută la catod nu poate învinge starea de anelectrotonus dela anod. Deci nu se produce contracţie;

- la deschidere, excitaţia născută la anod, găseşte nervul într-o stare de hiperexcitabilitate. Deci se produce contracţia.

Pentru curentul descendent :

-la închidere, excitaţia născută la catod produce contracţii datorită catelectrotonusului de închidere;

-la deschidere, excitaţia născută la anod nu poate ajunge la muşchi din cauza minimei stări de excitabililitate şi conductibilitate ce ia naştere la catod în momentul deschiderii circuitului (catelectrotonusul de deschidere).

In realitate, şi pentru curenţii slabi şi mijlocii apar fenomenele de electrotonus numai că ele fiind slab schiţate, nu influenţează asupra contracţiei.

Scanned with OKEN Scanner

Prin excitarea monopolară se observă :

Prima contracţie apare la închiderea circuitului şi anume la polul negativ, apoi la închidere la polul pozitiv, apoi la deschidere la polul pozitiv şi în fine ultima, la deschidere, la polul negativ. De unde formula lui Pflüger :

IN > IP > DP > DN

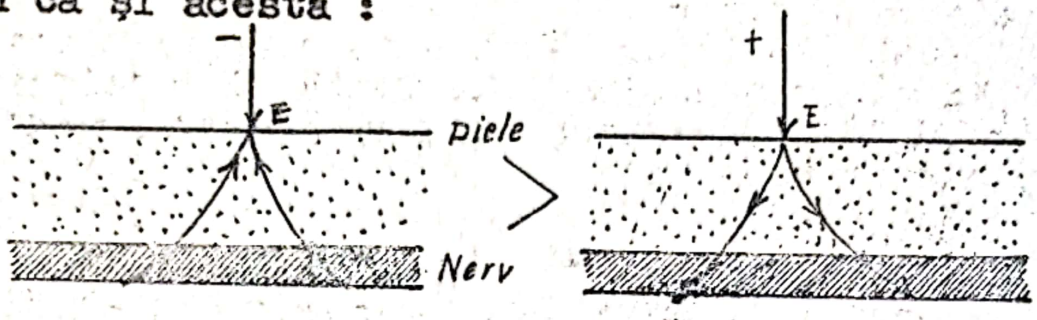
Această formulă se mai poate enunţa şi în următoarea, descoperită simultan de Chauveau şi Pflüger : "excitaţia naşte la închidere la catod şi la deschidere la anod; acolo unde ia naştere excitaţia se măreşte excitabilitatea şi conductibilitatea şi acolo unde nu ia naştere excitaţia, se produc fenomenele inverse, de micşorare a excitabilităţii şi conductibilităţii" Lucrurile se explică prin fenomenul de electrotonus.

Dar cum de se produce contracţia şi la anod cu condiţia ca intensitatea să fie mai mare? Se ştie că muşchiul sînt celule polarizate ce au suprafaţa încărcată pozitiv în raport cu interiorul. Procesul excitaţiei constă într-o depolarizare tranzitorie: sarcina pozitivă este în parte neutralizată printr-un aport de electroni (acţiunea catodului). În interiorul ţesuturilor apar poli virtuali opuşi electrodului cutanat. Aceşti poli se constituiesc la nivelul membranelor şi sînt probabil în raport cu o modificare în concentraţia ionilor de K+. In aceste condiţiuni se înţelege că electrodul activ pozitiv aplicat pe piele, declanşează o secusă în muşchiul profund. Curentul electric constă într-o deplasare minimă de electroni liberi, dar trecerea sa este suficientă pentru a realiza un aport de sarcini negative la suprafaţa nervului sau muşchiului în punctul motor. Polii virtuali se formează la periferia muşchilor, în care aponevrozele constituiesc capacităţile.

In cazul excităţii monopolare, ordinea apariţiei contracţiilor ţine de inegalitatea de densitate a curentului la nivelul celor doi electrozi, cu condiţia de a considera astfel, nu regiunile unde curentul pătrunde prin piele şi care nu pot să aibă nici o influenţă asupra fenomenului de excitaţie, ci suprafeţele organului excitabil pe unde intră şi iese curentul. Se şi numesc de aceea aceste suprafeţe, electrozi virtuali.

Să presupunem că am excitat un nerv(N) prin

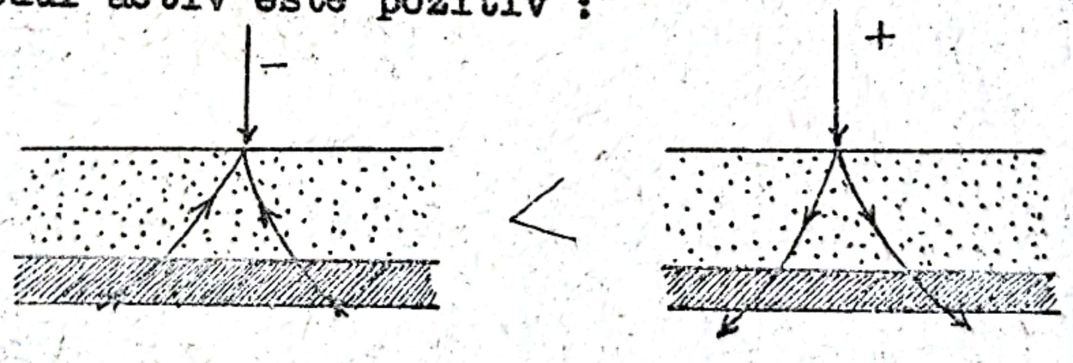
intermediul unui electrod activ (E) aşezat pe piele, în apropierea suprafeţei musculare. Curentul plecînd din E se împrăştie şi astfel cea mai mică suprafaţă a electrozilor virtuali va fi aceea care este vecină cu electrodul activ şi care va avea acelaşi semn ca şi acesta :



deoarece aci densitatea curentului va fi mai mare, la acest electrod va apare excitaţia mai întîi.

Prin urmare, în momentul închiderii circuitului, cînd excitaţia naşte la catod, prima secusă se va produce cînd electrodul activ va fi negativ, căci în acest moment densitatea curentului va fi maximă la catodul virtual al muşchiului. Deci : IN > IP.

Din contra, la deschiderea circuitului, cînd excitaţia naşte la anod, anodul virtual al muşchiului va prezenta cea mai mare densitate de curent şi deci secusa va apare mai întîi aci. Deci cînd electrodul activ este pozitiv :



se găseşte explicată astfel şi cea de a doua parte a formulei : DP > DN.

Este destul de a remarca, că toate fiind egale, secusele de deschidere necesită o intensitate mai mare decît cele de închidere. Plecînd dela aceste două inegalităţi se obţine formula completă de apariţie a secuselor.

Asupra excitabilităţii neuro-musculară cît şi mai ales a acţiunii polare, au fost emise mai multe

teorii şi anume :

Nernst arată că excitaţia se datoreşte modificărilor de concentraţie a ionilor preexistenţi în ţesuturi (polarizaţiei) sub acţiunea curentului electric şi că ea are loc în momentul în care concentraţia ionilor de sub electrod atinge o anumită valoare. El nu arată însă ce ioni joacă rol în procesele de excitare.

Loeb (1906) arată că unii cationi monovalenţi (K^+, Na^+) au o acţiune excitantă, iar cei bivalenţi (Ca^{++}, Mg^{++}), au acţiune calmantă. Astfel excitaţia depinde de raportul :

$$\frac{Na^+ \; K^+}{Ca^{++} Mg^{++}}$$

Bazat pe aceste date, Lazarev (1916) dă o teorie mai precisă, afirmînd că acţiunea excitantă a catodului la închiderea circuitului se datoreşte creştării concentraţiei ionilor de K^+, iar scăderea excitabilităţii la unod se datoreşte faptului că aci predomină ionii de Ca^{++}, care fiind mai lenţi, se deplasează mai încet spre catod. La întreruperea curentului, datorită difuziunii inverse a ionilor, tabloul este invers.

În sprijinul părerii după care catodul acţionează ca ionii de K^+ şi anodul ca cel de Ca^{++}, pledează în special experienţa care arată că lipsa de conductibilitate ce se dezvoltă în nervi sub influenţa ionilor de K^+, se accentuează prin acţiunea catodului şi se înlătură prin acţiunea anodului. Din contra, lipsa de conductibilitate care se dezvoltă sub influenţa ionilor de Ca^{++}, devine mai accentuată sub influenţa anodului şi se înlătură prin acţiunea catodului.

Diferenţa mare de rapiditate cu care apare excitaţia şi viteza mică de deplasare a ionilor, pledează pentru faptul că deplasarea ionilor nu este cauza excitaţiei, ci este unul din fenomenele care o însoţesc. Cesagovţ şi Ebbek susţin că fibra nervoasă se comportă ca un condensator, excitaţia corespunzînd descărcării şi ea avînd loc în momentul în care potenţialul electric a atins nivelul exploziv.

11) <u>Aplicarea efectelor excito-motoare</u>. Efectele galvanizării sînt în mare, următoarele :

- efect calmant şi sedativ al electrodului pozitiv cînd intensitatea curentului este constantă

teorii şi anume :

Nernst arată că excitaţia se datoreşte modificărilor de concentraţie a ionilor preexistenţi în ţesuturi (polarizaţiei) sub acţiunea curentului electric şi că ea are loc în momentul în care concentraţia ionilor de sub electrod atinge o anumită valoare. El nu arată însă ce ioni joacă rol în procesele de excitare.

Loeb (1906) arată că unii cationi monovalenţi (K^+, Na^+) au o acţiune excitantă, iar cei bivalenţi (Ca^{++}, Mg^{++}), au acţiune calmantă. Astfel excitaţia depinde de raportul :

$$\frac{Na^+ \; K^+}{Ca^{++} \; Mg^{++}}$$

Bazat pe aceste date, Lazarev (1916) dă o teorie mai precisă, afirmînd că acţiunea excitantă a catodului la închiderea circuitului se datoreşte creşterii concentraţiei ionilor de K^+, iar scăderea excitabilităţii la anod se datoreşte faptului că aci predomină ionii de Ca^{++}, care fiind mai lenţi, se deplasează mai încet spre catod. La întreruperea curentului, datorită difuziunii inverse a ionilor, tabloul este invers.

In sprijinul părerii după care catodul acţionează ca ionii de K^+ şi anodul ca cel de Ca^{++}, pledează în special experienţa care arată că lipsa de conductibilitate ce se dezvoltă în nervi sub influenţa ionilor de K^+, se accentuează prin acţiunea catodului şi se înlătură prin acţiunea anodului. Din contra, lipsa de conductibilitate care se dezvoltă sub influenţa ionilor de Ca^{++}, devine mai accentuată sub influenţa anodului şi se înlătură prin acţiunea catodului.

Diferenţa mare de rapiditate cu care apare excitaţia şi viteza mică de deplasare a ionilor, pledează pentru faptul că deplasarea ionilor nu este cauza excitaţiei, ci este unul din fenomenele care o însoţesc. Ceagovţ şi Ebbek susţin că fibra nervoasă se comportă ca un condensator, excitaţia corespunzînd descărcării şi ea avînd loc în momentul în care potenţialul electric a atins nivelul exploziv.

11) Aplicarea efectelor excito-motoare. Efectele galvanizării sînt în mare, următoarele :

- efect calmant şi sedativ al electrodului pozitiv cînd intensitatea curentului este constantă

sau variază lent;

- efect excitant şi rezolutiv al electrodului negativ în aceleaşi condiţiuni ;

- efect excitant cu producere de contracţii musculare (efect excito-motor) cînd intensitatea curentului galvanic variază brusc (curenţi întreruptţi).

Datorită acestor acţiuni se poate face excitarea artificială a sistemului neuro-muscular cu ajutorul curentului galvanic, deoarece :

- lupta contra atrofiei ce atinge în mod fatal orice organ a cărui funcţie fiziologică este suspendată;

- favorizează circulaţia din muşchi, asigurînd astfel nutriţia. Fenomenul a fost arătat de Dejerine prin următoarea experienţă : se secţionează ambii nervi sciatici ai unui cobai. Se electrizează zilnic mereu unul şi acelaşi din nervii secţionaţi.Se constată că tulburările trofice apar mult mai tîrziu la membrul la care nervul secţionat era supus galvanizării, decît la cel ce nu era electrizat.De asemenea escarele şi atrofia apar mai tîrziu;

- excitarea electrică a neuronilor periferici este capabilă de a se propaga pe calea reflexă,după unii autori, pînă la centrii cu conexiuni nervoase cu neuronii excitaţi. De aci ar rezulta un efect favorabil asupra unor leziuni de ordin central.

Galvanizarea se întrebuinţează în paralizii datorite unor leziuni a neuronului motor periferic cu reacţii de degenerare, în atoniile muşchilor netezi (în constipaţii), în afecţiunile ginecologice şi în cele articulare.

Galvanizarea poate fi asociată cu ionizarea,de exemplu cu cea salicilică.

După modul de aplicare, galvanizarea poate fi de două feluri : longitudinală şi transversală.

In galvanizarea longitudinală se aşează un electrod indiferent la rădăcina nervului respectiv şi un electrod activ, în regiunea periferică.Dacă bolnavul nu suferă, se montează polul negativ la periferie (curent descendent),deoarece polul negativ are proprietăţi excitante şi rezolutive. Dacă însă pacientul are dureri, la periferie se aşează polul pozitiv (curent ascendent), deoarece polul pozitiv are efect calmant. Intensitatea curentului este în funcţie de suprafaţa electrozilor şi variază între 15 şi 50 mA. Şedinţele durează de obicei 20' şi se

fac de 3 ori pe săptămînă. Ne conducem în efectuarea lor după starea tegumentelor (apariţia de escare) şi după reacţiile dureroase.

In galvanizarea transversală se aşează doi electrozi mari pe ambele părţi ale regiunii de tratat. Intensitatea curentului este mare: 2oo-3oo mA.

Legea excitaţiei electrice

Primul care a căutat să determine condiţiile în care ia naştere excitaţia electrică a nervilor şi muşchilor, a fost fiziologul Du Bois Reymond (1848). După el, numai variaţiile repezi ale intensităţii sînt capabile să producă excitarea electrică neuro-musculară, de unde enunţă legea generală a excitaţiei : " excitaţia electrică depinde numai de iuţeala cu care variază intensitatea curentului, durata nejucînd nici un rol. Excitaţia este cu atît mai puternică, cu cît această iuţeală este mai mare".

Dacă legea ar fi riguros exactă, un curent continuu ar trebui să dea pragul cînd se scurtează din ce în ce durata sa de trecere, păstrînd cu aceeaşi durată perioadele variabile (închiderile şi deschiderile circuitului). Ori pentru muşchii cu contracţie lentă, lucrurile nu se petrec astfel ci curentul electric trebuie să treacă prin organul excitabil, un timp oarecare, considerabil în raport cu durata pericadelor variabile.

Fizicianul danez Hoorweg (1892), arată că perioada variabilă de excitaţie este durata de descărcare a condensatorilor. Excitînd succesiv acelaşi muşchi cu doi condensatori de capacităţi inegale dar încărcaţi cu acelaşi potenţial, constată că descărcarea condensatorului cu capacitate mai mare (deci timp mai lung de descărcare) este mai eficace. Ori, contrar legii lui Du Bois Reymond, în cel cu capacitatea mai mică, sînt mai rapide variaţiile de intensitate. Pentru a atinge pragul excitaţiei cu capacităşi din ce în ce mai mari, trebuie să se micşoreze voltajul. Căutînd o relaţie între capacitate (C) şi voltaj (V), găseşte :

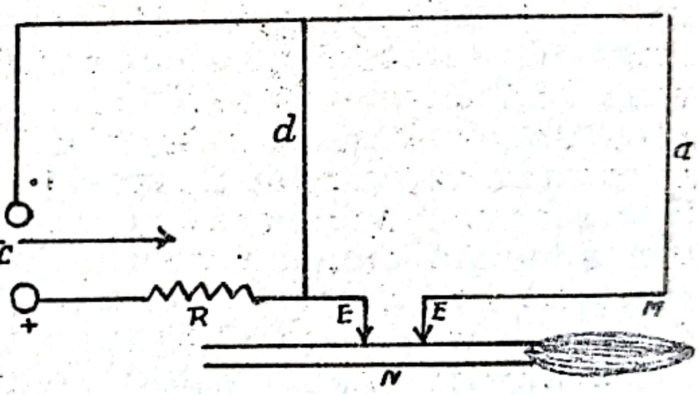
$$V = R.a + \frac{b}{C}$$

în care a şi b sînt două constante a căror valoare depinde de condiţiile experienţei.

Aceste rezultate arată că durata de trecerea curentului joacă un rol important în procesele excitaţiei. Totuşi formula lui Hoorweg nu ne permite să cunoaştem durata excitaţiei pentru diversele ca-

pacităţi întrebuinţate. In adevăr, în timp ce descărcarea unui condensator se face teoretic într-un timp indefinit, efectul excitator al descărcării se termină atunci cînd intensitatea are încă o valoare oarecare. Există deci o cîtime de descărcare care nu serveşte excitării şi care nu se poate lăsa la o parte fără a modifica răspunsul muşchiului respectiv.

Fizicianul francez G.Weiss (1901) reluînd cercetările, arată că timpul influenţează asupra excitaţiei. Pentru a demonstra acest lucru el a întrebuinţat un aparat numit reotomul balistic ce este susceptibil de a realiza treceri de curenţi extrem de rapide, pînă la lo miimi de sec. Iată aparatul lui Weiss: pe nervul unei broaşte, se montează doi electrozi impolarizabili (E şi E'). Un conductor (d) cu o rezistenţă neglijabilă, este montat în derivaţie pe electrozi. Un cartuş (C) trimis de o carabină cu acid carbonic lichid, secţionează succesiv firul (d) şi circuitul principal într-un punct oarecare (a). Inainte de secţiunea firului (d) nu trece prin nerv de cît un curent extrem de slab şi fără nici o acţiune fiziologică. Curentul electric va excita nervul abia în momentul secţionării firului (d) şi va traversa nervul cu o intensitate constantă pînă cînd cartuşul va secţiona şi circuitul principal. Viteza cartuşului fiind foarte mare (13o m/sec), se obţin curenţi foarte scurţi.



Weiss excitînd muşchiul gastrocnemian prin intermediul nervului sciatic, a stabilit că pentru durate de trecere mai mici ca 3 miimi de sec., micşorînd durata de trecere a curentului, se pierde pragul excitaţiei, fiind astfel nevoe de mărimea intensităţii. Cu alte cuvinte, intensitatea prag a curentului variază în raport invers proporţional cu durata lui de trecere. Se stabileşte astfel relaţia empirică: $i = \frac{a}{t} + b$

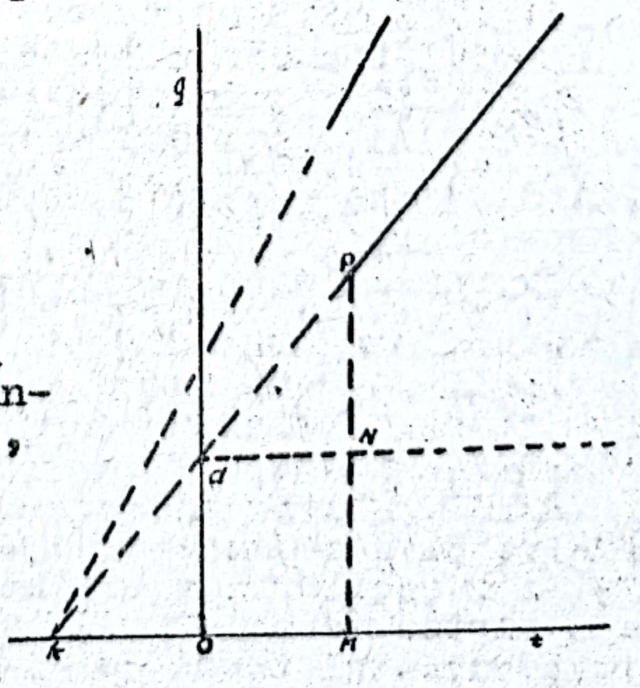
în care a şi b sînt de data aceasta doi coeficienţi a căror valoare depinde de suprafaţa electrozilor şi de locul unde se aplică ei pe nerv.

Această formulă exprimă legea lui Weiss: " la excitaţia prin curenţi voltaici, intensitatea prag variază în raport invers cu durata de trecere a curentului electric".

Tot el a căutat să cerceteze dacă nu cumva durata de trecere a curentului nu cade tocmai în perioada variabilă şi a putut verifica că perioada variabilă iniţială ţine cam 1/12.000 dintr-o secundă. Urmează deci că excitaţia depinde nu numai de regimul variabil al curentului, ci şi de cel constant, adică de timpul cît trece curentul. Perioada excitaţiei fiziologice se prelungeşte dincolo de perioada variabilă a curentului.

Dar şi această limită nu este valabilă decît între anumite limite ale duratei de trecere a curentului. Astfel nu este valabilă pentru durate prea mari (în care caz i=b) şi nici pentru durate prea mici de ordinul a suta mia parte dintr-o secundă, în care caz, intensitatea prag nu mai variază cu t, ci este aceea pentru orice durată de excitaţie. Din această cauză Weiss a dat relaţiei sale empirice o altă formă, căci înmulţind ambii membrii ai formulei cu t, se obţine: $i.t = a+b.t$ Ori produsul i.t exprimă cantitatea (q) de electricitate ce a trecut prin circuit. Deci: $q = a + b.t$

Reprezentînd grafic formula şi luînd pe axa absciselor durata t, iar pe ordonată, cantităţile q, se obţine o dreaptă ce tae axa absciselor într-un punct K. Prin variaţiile condiţiilor de experienţă (suprafaţa electrozilor, distanţa dintre ei, etc.), se obţine o altă dreaptă însă toate tae axa absciselor în acelaşi punct K. De aci rezultă că segmentul OK exprimat în unităţi de



timp, constituie o constantă caracteristică a excitabilităţii electrice pentru un anumit nerv sau muşchi. Mărimea acestui segment se obţine din formula de mai sus, scoţînd valoarea lui t care anulează pe q, adică :

$$0 = a + b.t \qquad \text{de unde : } t = -\frac{a}{b}$$

Deci punctul K are o abscisă negativă. Cum un timp negativ nu are sens în fizică, se ia ca o caracteristică raportul a/b numit raportul lui Weiss.

Fiziologul Lapicque (1909) a întrevăzut însemnătatea raportului lui Weiss pentru caracterizarea excitabilităţii neuro-musculare. In cazul curenţilor de lungă durată, i = b, deci în acest caz b este intensitatea prag. Lapicque a dat acestei mărimi numele de reobază, rheobaza fiind minimum de intensitate a unui curent de o durată indefinită, capabil să producă o contracţie în muşchiul respectiv.

Dela valoarea acesteia, Lapicque defineşte o nouă caracteristică a excitabilităţii : chronaxia, care reprezintă timpul de trecere al unui curent electric cu o intensitate dublă rheobazei, necesar obţinerii pragului de excitaţie.

Iată cum s-a ajuns la această valoare : considerînd formula lui Weiss :

$$i = -\frac{a}{t} + b$$

scoatem : $t = \frac{a}{i-b} = \frac{a}{b(i/b-1)}$ sau $\frac{a}{b} = t(\frac{i}{b} - 1)$

Din această formulă se vede că rapprtul a/b este pozitiv cînd i/b este mai mare decît unitatea, deci cînd intensitatea minimă este mai mare decît rheobaza. Pentru a da raportului a/b cea mai simplă interpretare fizică, putem lua :

$$\frac{i}{b} - 1 = 1 \qquad \text{deci } i = 2b$$

aşa că formula : $t = \frac{a}{i-b}$ devine $t = \frac{a}{b}$

cu alte cuvinte, raportul lui Weiss reprezintă durata de trecere a curentului electric de intensitate prag egal dublului rheobazei, raport numit de Lapicque "chronaxie".

Prin definirea chronaxiei, fiziologia a pus stăpînire pe o constantă de excitabilitate a nervilor şi a muşchilor. Cu cît un nerv sau un muşchi are o chronaxie mai mare, cu atît este mai greu de excitat, curentul trebuind să-l străbată mai mult timp pînă să se obţină pragul excitaţiei, deci cu

atît are o excitabilitate *mai mică.*

Importanţa determinărilor de chronaxie în fiziologie va fi studiată într-un alt capitol.

Excitaţii iterative

Pentru a provoca cîteodată răspunsul unor sisteme iritabile, este necesar sau cel puţin avantajos de a întrebuinţa excitaţiile repetate, mecanism pe care Lapicque l-a numit sistem iterativ.

In acest caz, intensitatea depinde de trei factori : durata fiecărei excitaţii izolate, numărul de excitaţii şi intervalul de timp dintre ele.

Studiul acestor factori diferiţi se face observînd cum variază intensitatea prag ce dă o contracţie, succesiv cu fiecare din aceşti trei factori, în timp ce ceilalţi doi îşi păstrează valorile lor constante.

Pentru aceasta dispunem de o serie întreagă de dispozitive, dintre care cele mai cunoscute sînt cilindrul cu came a lui Lapicque şi iteratorul lui Walter, ce comportă un dublu dispozitiv : primul produce curenţi echidistanţi, al doilea făcînd să varieze durata totală a excitaţiei. Capacitatea unui condensator, ea însăşi variabilă, permite pe de altă parte, de a modifica durata undei excitatoare.

In urma acestor trei factori,deosebim trei legi ale voltajului prag :

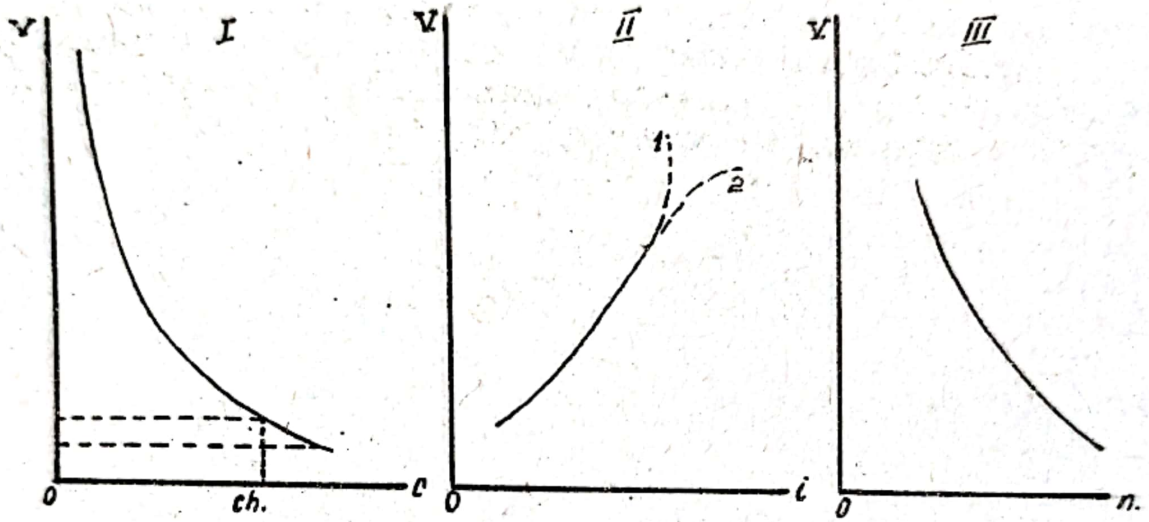
1)Legea capacităţilor : frecvenţa şi numărul descărcărilor fiind constante, se constată că voltajul prag variază cu capacitatea exact la fel ca şi pentru excitaţiile unice ale nervilor şi muşchilor scheletici,fapt care a permis definirea constantei de timp (chronaxia) care este independentă de condiţiile experienţei şi mai ales de frecvenţa excitaţiilor.

2)Legea intervalelor : rămînînd constante capacitatea şi numărul excitaţiilor şi măsurînd voltajul limită în funcţie de timpul scurs între două excitaţii consecutive, se constată că sîntem obligaţi pentru a obţine pragul de excitaţie, să creştem voltajul pe măsura creşterii intervalului dintre excitaţii.

Totuşi alura curbei pentru intervale mari,diferă după caz şi anume : fie că voltajul creşte peste orice limită pentru frecvenţe joase,ceeace este caracteristic sistemului pur itarativ (caz 1 fig II),sau tinde spre o valoare constantă, care

arată posibilitatea de a obține un răspuns cu o excitație unică (cazul 2 Fig.II).Pentru intervale mici de timp, curba se apropie în general de orizontală, dar cîteodată ea poate sau să continue să descrească,sau chiar să crească.

3) Legea numărului : dacă variem numai numărul de excitații păstrînd același interval .și aceeași capacitate, creșterea numărului de stimuli permite de a coborî voltajul prag (Fig.III) deci se realizează o economie de voltaj. In practică această economie se realizează pînă la o limită



oarecare ce depinde în același timp de frecvență și de număr, dar pentru care, produsul dintre numărul de excitații și intervalul de timp dintre ele, dă întotdeauna aceeași cifră. Acest produs numit de Lapicque timpul de somație, reprezintă timpul în care excitațiile pot să se adiționeze eficace.

Intr-un sistem iterativ avem astfel două caracteristici :

-chronaxia, dată de legea capacităților;
-timpul de somație,dat de legea numărului de excitații.

In unele experiențe (de ex.reflexul cutanat al broaștei) se vede că o răcire efectuată pe nerv modifică numai chronaxia, pe cînd dacă se efectuează pe măduvă, modifică numai timpul de somație; de unde se poate conchide că chronaxia este constanta de timp pentru nervi și că timpul de somație este constanta de timp pentru organul efector (în acest caz măduva).

In unele sisteme iterative este posibil de a măsura direct chronaxia organului executor și de a o compara cu timpul de somație. Se găsește atunci

că acesta din urmă este sensibil egal cu 80 chronaxii. Astfel atunci cînd organul respectiv este inaccesibil, se obţine o mărime a chronaxiei sale, împărţind cu 80 timpul de somaţie. De exemplu pentru reflexul medular al broaştei, chronaxia nervului sensitiv este de 0,3 σ, aceea a nervului motor şi timpul de somaţie, de cca.o secundă. Se deduce valoarea chronaxiei medulare care este de 1000 σ/80 =10 σ .

Se remarcă importanţa diferită între valorile chronaxiei centrale şi a celei periferice.

Excitaţia iterativă constituie un procedeu preţios pentru explorarea neuronilor centrali şi pentru determinarea caracteristicilor lor.

CLASIFICAREA CURENTILOR ELECTRICI

Curenţii electrici se pot clasifica după mai multe criterii dintre care cel mai utilizat este cel al clasificării variaţiilor de intensitate în funcţie de timp.

Din acest punct de vedere curenţii se împart în :

-constant (galvanic). Este curentul a cărui intensitate nu variază atît timp, *cît* circulă printr-un conductor. Este curentul care a fost cercetat pînă în prezent.

-variabil. Este curentul a cărui intensitate variază tot timpul.

In funcţie de variaţia intensităţii, acest curent la rîndul lui poate fi :

1.-Constant sau periodic, atunci cînd intensitatea trece în mod periodic prin aceleaşi valori.

Astfel de curenţi sînt :

- curentul de inducţie
- curentul alternativ
- curentul oscilator

} circulă în ambele sensuri.

- curentul ondulator
- curentul pulsatil
- curentul redresat

} circulă într-un singur sens.

2.-Neregulat sau neperiodic este curentul a cărui intensitate variază neregulat. El nu se poate clasifica deoarece îmbracă o infinitate de forme.

Trebuie să specificăm că sînt o mulţime de forme de curent variabil , însă nu vom pomeni decît despre acei care au o utilitate practică în medicină.

Incepem studiul acestor curenţi cu curentul de inducţie din cauza marei sale importanţe atît în practică cît şi în medicină, mai ales că efectele sale de inducţie şi de selfinducţie întovărăşesc orice curent variabil.

Curentul de inducţie

M.Faraday este cu drept cuvînt părintele electricităţii moderne prin descoperirea fenomenului de inducţie electromagnetică (1832).

Faraday plecînd dela principiul că un curent electric produce un cîmp magnetic, deduce că şi cîmpul magnetic (fie creat de un curent electric, fie de un magnet), poate produce curent electric. Acest fenomen stă la baza curentului de inducţie electromagnetic.

Curenţii de inducţie apar ori de cîte ori variază cîmpul magnetic al uni circuit, fie direct, fie prin intermediul intemsităţii curentului electric, fapt care contribuie tot la modificarea liniilor de forţă magnetică, deci tot a cîmpului.

Curentul de inducţie apare astfel ca o transformare directă a energiei mecanice în energie electrică.

In fenomenul de inducţie nu se induce un curent într-un conductor, ci o diferenţă de potenţial ce se produce numai în circuitele electrice închise. Ea este direct proporţională cu intensitatea cîmpului electric, cu lungimea porţiunii de circuit, cu viteza ei de mişcare şi cu sinusul unghiului format de direcţia de deplasare a porţiunii de circuit, cu direcţia liniilor de forţă magnetică.

Din diferitele moduri de producere a curentului de inducţie, s-au scos următoarele legi :

1. Orice variaţie a fluxului magnetic care traversează un circuit închis, determină în acest circuit, un curent numit de inducţie (Faraday).

2. Durata curentului de inducţie este aceea a variaţiei fluxului (Faraday).

3. Cantitatea de electricitate pusă în joc este direct proporţională cu variaţia fluxului şi invers proporţională cu rezistenţa circuitului.

4. Sensul curentului de inducţie este astfel că fluxul propriu pe care-l dezvoltă, produce o variaţie contrară aceleia creată de fluxul primar, diminuînd acest flux, dacă el tinde să crească; crescînd dacă tinde să diminue (Lenz).

Deci curentul de inducţie tinde să se opuie cauzei care-i dă naştere.

Direcţia curentului de inducţie se poate afla aplicînd regula mîinii drepte : dacă degetul mare este îndreptat în direcţia mişcării şi indexul în

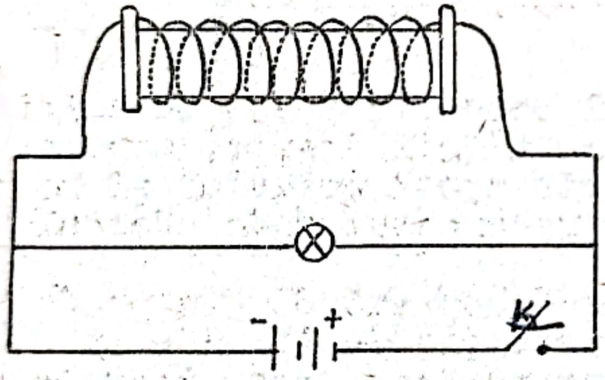
direcţia liniilor de forţă, mijlociul ne arată direcţia curentului indus, dacă cele trei degete sînt perpendiculare unul pe celălalt.

Curentul de selfinducţie. Curenţii de inducţie nu iau naştere numai în circuitele vecine, ci chiar în cele proprii. Aceştia poartă numele de curenţi de selfinducţie sau autoinducţie. Ei se produc într-un circuit ori de cîte ori variază fluxul magnetic produs de curentul permanent ce circulă prin acel circuit.

Ca şi curenţii de inducţie, vor fi tot de două sensuri :

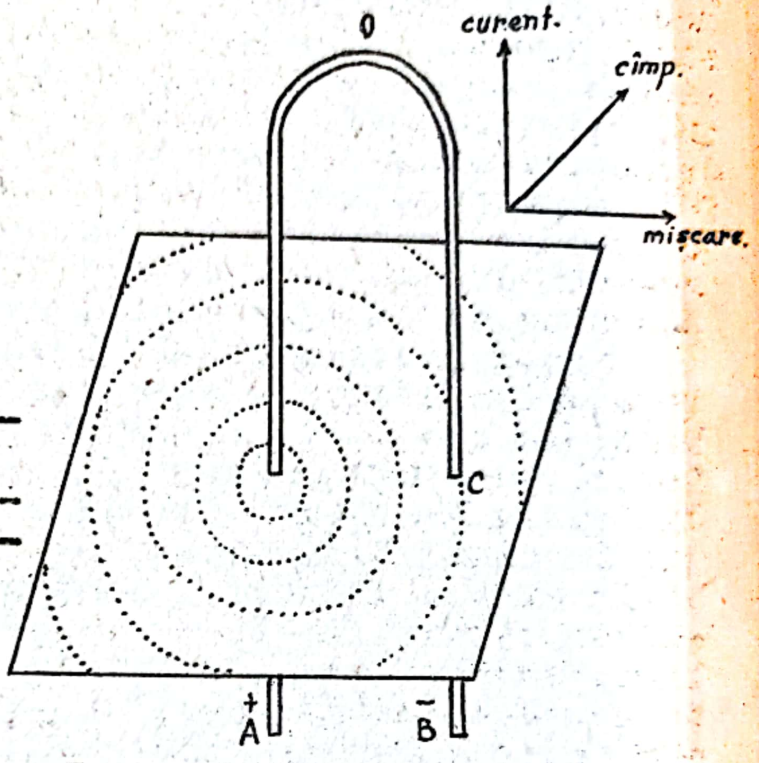
- unul de sens contrar curentului inductor, cînd fluxul magnetic al circuitului creşte;
- altul de acelaşi sens ca şi curentul principal pe care-l întăreşte cînd fluxul magnetic al circuitului descreşte sau dispare.

Faptul că este mai mare curentul de selfinducţie de deschidere decît cel de închidere, se poate proba astfel : în circuitul unei pile, montăm o cheie (K) şi o bobină, iar în derivaţie, un circuit prevăzut cu un bec electric. Cînd închidem circuitul se produce o slabă aprindere a becului (sau poate chiar să nu se aprindă deloc). Cînd deschidem circuitul, becul se aprinde mult mai puternic.



Curenţii de selfinducţie nu lasă să crească intensitatea la închiderea circuitului şi nu o lasă să scadă la deschidere. Din cauza curentului de selfinducţie de închidere, intensitatea unui generator de curent continuu nu are dela început valoarea sa normală şi constantă, ci o valoare mai mică. Această valoare creşte apoi repede. Tot din cauza lui la întreruperea curentului permanent, acesta nu se întrerupe brusc şi valoarea sa nu se coboară brusc la zero, ci se mai prelungeşte puţin, avînd o intensitate ce creşte foarte repede şi care apoi se micşorează foarte rapid pînă la anulare. Deoarece mult mai repede se poate întrerupe decît stabili un curent, tensiunea electromotoare de selfinducţie este mai mare la întreruperea decît la stabilirea curentului.

Iată explicarea curenţilor de selfinducţie a căror energie provine din energia electrică a curentului : să considerăm un fir AOB, îndoit în formă de U. Curentul merge dela A la B. Cînd se stabileşte circuitul este nevoie de un timp pentru ca intensitatea curentului să treacă de la valoarea zero la cea care constituie regimul său permanent. In acest timp liniile de forţă ies din conductor şi se răspîndesc concentric. In drumul lor ele vor tăia propriul lor fir pe porţiunea OB, deşi în figură este figurat numai punctul C, producînd astfel un curent de inducţie în propriul circuit. Sensul acestui curent de selfinducţie ni-l dă tot regula mîinii drepte, care ne arată că el are o direcţie opusă primului şi anume dela B la A. Aşa dar extracurentul scade efectul curentului primar.



La fel şi porţiunea de curent OB, va produce şi ea un curent de selfinducţie în AO. Efectul fiind identic ca şi în primul caz, rezultantele se adaugă. Cînd sînt mai multe spire vecine (cazul bobinelor), selfinducţia se produce în toate spirele şi efectele se adună, astfel că cu cît vor fi mai multe spire, cu atît selfinducţia va fi mai puternică.

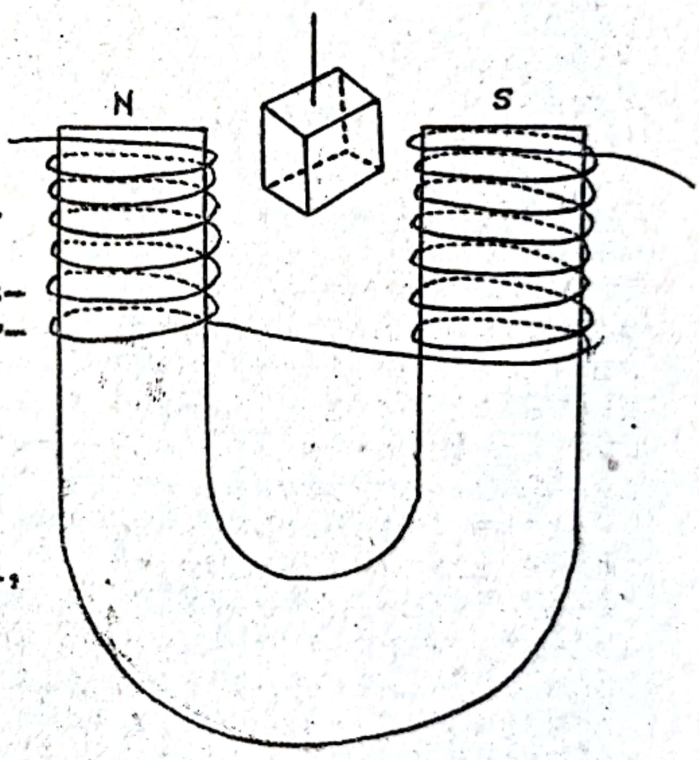
Ruperea circuitului în experienţa de mai sus, face ca liniile de forţă să reintre şi astfel vor tăia din nou firul propriu, producînd un curent de selfinducţie de acelaş sens cu curentul principal. In acest caz, curentul de self tinde să prelungească curentul principal ca şi cum s-ar opune ruperii lui, după cum în cazul stabilirii curentului, extracurentul de self se opune creşterii curentului principal.

Fenomenul de inducţie proprie sau de autoin-

ducţie se poate asemăna bine cu inerţia.

Curenţii lui Foucault. Curenţii de inducţie nu se produc numai în circuite conductoare liniare închise, ci şi în mase metalice ce au aproximativ aceleaşi dimensiuni între ele. Ori de cîte ori variază fluxul de forţă ce străbate o suprafaţă metalică oarecare, se produc în această masă curenţi de inducţie, numiţi curenţii lui Foucault după numele descoperitorului. Sensul acestor curenţi este astfel că se opun cauzei sau mişcării care i-a produs (ce produce variaţia fluxului magnetic). Energia acestor curenţi se preface total în căldura ce se absoarbe de masa metalică.

Exp.: între polii unui electromagnet foarte puternic dar neexcitat, se atîrnă de un fir răsucit bine, un cub de cupru. Cubul începe să se învîrteaşcă foarte repede din cauza desrăsucirii firului. Dacă stabilim circuitul prin electromagnet, învîrtirea cubului se opreşte aproape instantaneu, din cauza acţiunii electromagnetice ce se exercită de către cîmpul electromagnetic asupra curenţilor induşi produşi în masa de cupru în mişcare. Firul continuă să se răsucească, dar insensibil, ca şi cum s-ar mişca într-un mediu vîscos. In afară de aceasta se constată o încălzire a cubului.



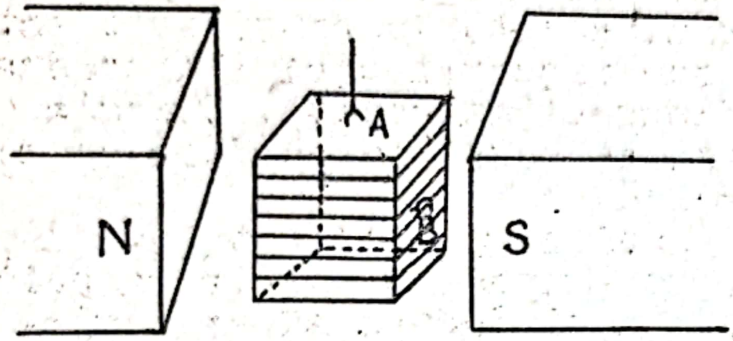
Această experienţă ne arată un frumos exemplu de transformare a lucrului mecanic în căldură. S-au format curenţi induşi care, în mare parte se închid în ei înşuşi din cauza conductibilităţii metalului.

Astfel de curenţi se folosesc la galvanometre pentru a amortiza oscilaţiile.

Sensul curenţilor lui Foucault este dat tot de legea lui Lenz sau de regula mîinii drepte a lui Fleming.

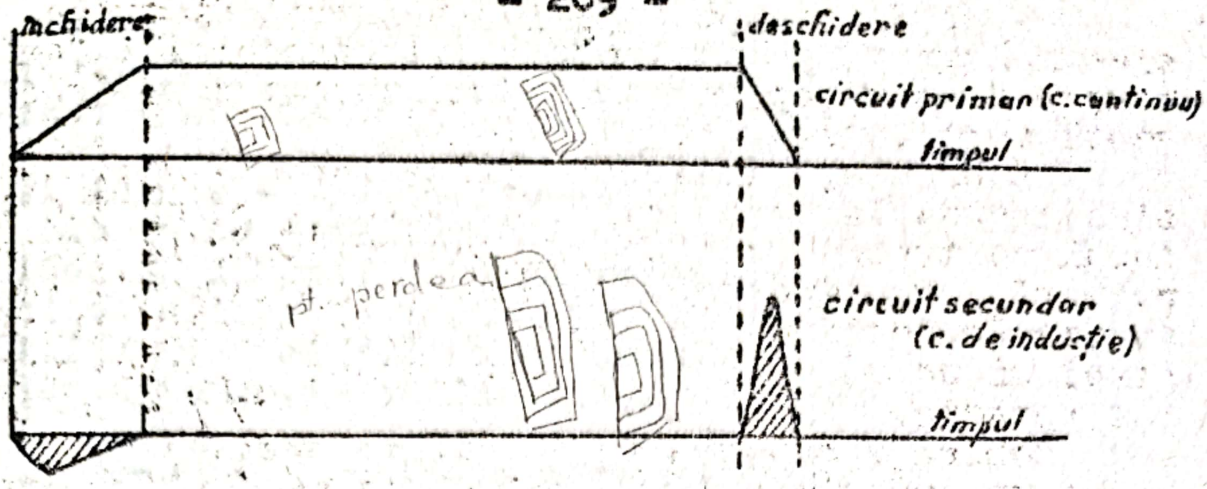
Pentru a se opune formării curenţilor de inducţie şi deci încălzirii conductorilor în mişcare

relativă faţă de un magnet, conductorul cilindric se face din lame metalice izolate şi dispuse perpendicular pe direcţia curentului de inducţie. Următoarea experienţă a lui Mateucci ne arată că foiletarea este eficace pentru eliminarea curenţilor induşi. Un cub din plăci de cupru izolate şi puse una peste alta, este suspendat cu un fir de aţă între polii unui electromagnet puternic. Răsucim firul de suspensie şi apoi îl lăsăm liber. Cubul se opreşte din rotire cînd este plin, sau cînd foile din care este confecţionat sînt verticale (cubul prins în B). Cubul nu este oprit din rotire cînd foile sînt orizontale, adică cuprind în planul lor cîmpul H şi direcţia D a deplasării, căci în acest caz curenţii de inducţie au sensul după direcţia a treia, iar secţionarea îi împiedică de a se uni şi de a efectua oprirea cubului în cîmpul magnetic(cubul prins în A).



De unde provine energia curenţilor de inducţie? Curenţii de inducţie produc exact aceleaşi efecte ca şi curenţii obţinuţi cu elemente voltaice : chimice, termice, mecanice, magnetice. Legea lui Lenz ne arată că acest curent de inducţie exercită o acţiune electromagnetică ce se opune cauzei care-i produce. Ca să producem curenţi de inducţie, este nevoie să învingem rezistenţa ce ne-o opune astfel de curenţi, deci să cheltuim lucru mecanic sau energie, după cum cheltuim lucru mecanic cînd încărcăm cu electricitate o maşină electrostatică sau întindem un resort elastic. Această energie cheltuită din afară, se înmagazinează în circuit sub forma de energie electrică a curentului de inducţie.

Diagrama curentului de inducţie. Excluzînd de la început fenomenul de selfinducţie care se petrece atît în circuitul primar, cît şi în cel secundar, curentul de inducţie are următorul aspect grafic :



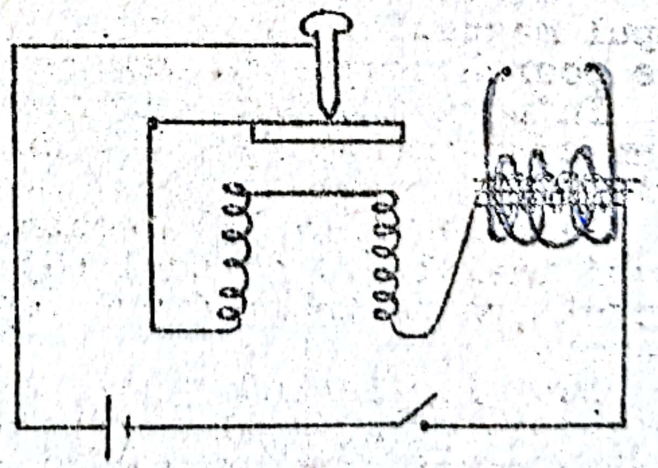
Se observă că unda indusă de închidere este de o durată mai mare (din cauza duratei mai mari a închiderii circuitului) însă de o intensitate mai mică decît cea de deschidere.

Durata curentului indus este aceea a variației fluxului, iar intensitatea sa, este proporțională cu rapiditatea acestei variații. Cum durata stabilirii curentului în primar este mai lungă decît ruperea sa, unda de închidere în secundar va fi mai întinsă și de o intensitate mai mică; unda de deschidere va fi mai scurtă și de intensitate mai mare. Din p.d.v. al cantității de energie pusă în joc, ele însă sînt perfect egale.

Aplicații

1) Bobina de inducție . A fost inventată de Ruhmkorff. O astfel de bobină este formată din :

- o bobină primară, fixă, ce are un fir scurt și gros;
- în mijlocul acestei bobine se găsește un miez de fier moale, ce are ca scop să stringă liniile de forță magnetică ale circuitului primar, deci să mărească intensitatea circuitului indus;



- o bobină secundară, mobilă, ce are un fir lung și subțire. Cu cît firul este mai lung și mai subțire, cu atît bobina va fi mai puternică;

- un întrerupător automat format dintr-un electromagnet şi un ciocănaş (ciocănaşul lui Neff) ce are drept scop formarea unui curent cu o frecvenţă mare (curent faradic).

Bobina are trei rînduri de borne : unul la bobina indusă la care se prind reoforii ce se duc la locul ce trebuie excitat şi două rînduri la bobina primară. Un rînd serveşte pentru şocurile de inducţie (curenţi de inducţie cu întreruperi relativ rare) şi un rînd lîngă electromagnet, pentru curentul faradic.

Bobina secundară este mobilă, putîndu-se plimba pe un suport de lemn, astfel ca să căpătăm după nevoie, un curent mai intens sau nu, după cum bobina secundară este mai apropiată sau nu de cea primară.

Tensiunea electromotoare a unei bobine depinde de : intensitatea curentului primar, numărul spirelor bobinei secundare, numărul întreruperilor pe secundă.

Bobina de inducţie nu are poli propriu zis. Deoarece însă curentul de deschidere este mai mare ca cel de închidere, practic, vom socoti sensul curentului dela deschidere cu semnul - şi cel dela închidere cu +.

2) Alternatorul. Este generatorul de curent alternativ. Schematic, este format din două organe :

- un cîmp magnetic fix dat de un electromagnet, prin care trece un curent zis de excitaţie. Piesa poartă numele de inductor sau excitator;
- nişte spire de sîrmă ce se mişcă astfel în cîmpul magnetic, încît taie liniile de forţă şi care poartă numele de armătură sau indus.

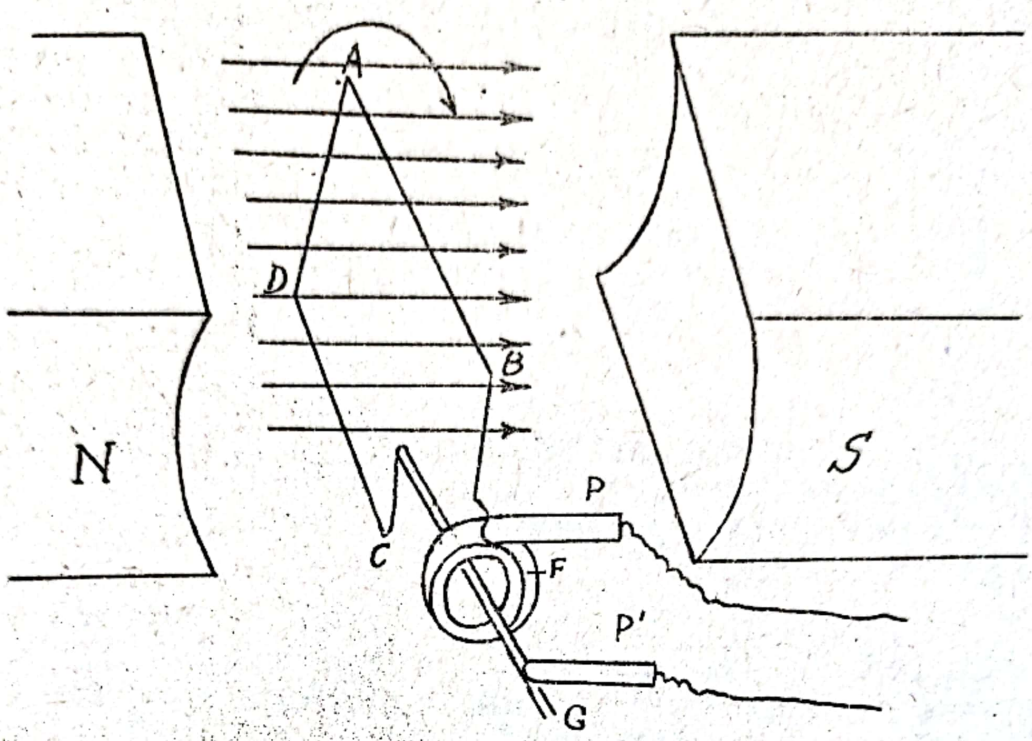
Indusul (în fig.noastră spira ABCD) este legat la un capăt de un inel (F) şi la celălalt capăt la axul (G).

Periile (P şi P') legate la circuitul exterior, freacă inelul (F) şi axul (G) pentru a culege curentul produs în armătură (indus) cînd maşina lucrează.

După legile inducţiei, din cauza învîrtirii spirei în jurul axului orizontal, în spiră este indusă o tensiune electromotrice a cărei mărime depinde de felul în care se schimbă numărul de linii de forţă îmbrăţişate în fiecare moment de spiră.

Cînd spira este în poziţia indicată pe figură, planul ei fiind perpendicular pe liniile de forţă,

prin ea trece cel mai mare număr de linii de forţă;



cînd este în poziţie orizontală, prin ea nu trece nici-o linie de forţă. Deci în timpul învîrtirii, numărul de linii de forţă scade dela maximum la zero, astfel că t.e.m. variază dela zero la maximum. Spira urmînd rotaţia mai departe, încep să crească din nou numărul de linii de forţă, astfel că după ce a făcut o rotire completă de 180° dela poziţia iniţială, taie iar maximum de linii de forţă.

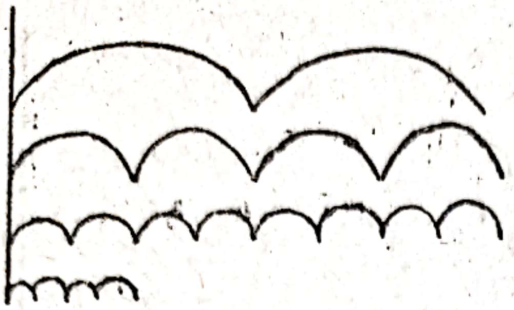
În prima jumătate de învîrtitură, curentul circulă în circuitul exterior delà P la P', deci P este + şi P' este -. In a doua jumătate curentul circulă invers în acelaşi circuit exterior, deci P este - şi P' este +.

3) Dinamul. Este sursa de curent continuu. In realitate el transformă curentul alternativ într-un curent aproape rectangular.

Dinamul este un alternator căruia i s-a adăugat o a treia piesă numită colector sau comutator.

Colectorul se montează între indus şi circuitul exterior (în locul inelului F). El este construit dintr-o serie de lamele de cupru puse una lîngă alta şi izolate prin cîte un strat de mică sau alt izolant. Lamele formează un cilindru aşezat pe osie la unul din capetele indusului. Legăturile colectorului cu circuitul exterior se schimbă chiar în momentul

în care are loc schimbarea sensului curentului în armătură, în aşa fel încît în circuitul exterior curentul rămîne cu acelaşi sens. Aspectul curbei ce se capătă astfel, se vede în figura alăturată, în care porţiunea ridicată (redresată) este porţiunea negativă, căpătîndu-se astfel un curent pulsatil. Dar cum de fapt pe indus nu se găseşte o singură spiră, ci o sumedenie, curenţii din diferitele spire se adună astfel încît pulsaţiile sînt din ce în ce mai mici pînă dispar.



4) Motorul electric. Dinamul primeşte energie mecanică şi produce energie electrică. El este însă reversibil şi poate transforma energia electrică în mecanică, devenind astfel un electromotor. Pentru aceasta se introduce în indusul dinamului un curent continuu identic cu cel pe care l-ar produce el. Conform legii lui Lenz, indusul se va roti invers sensului în care ar trebui să fie rotit spre a produce acelaşi curent. Din energia electrică apare astfel energie mecanică căci indusul se pune în legătură cu o curea de transmisie şi mişcarea lui va fi transmisă astfel la o altă maşină (unealtă).

Randamentul electromotorului este la fel de ridicat cu şi cel al dinamului.

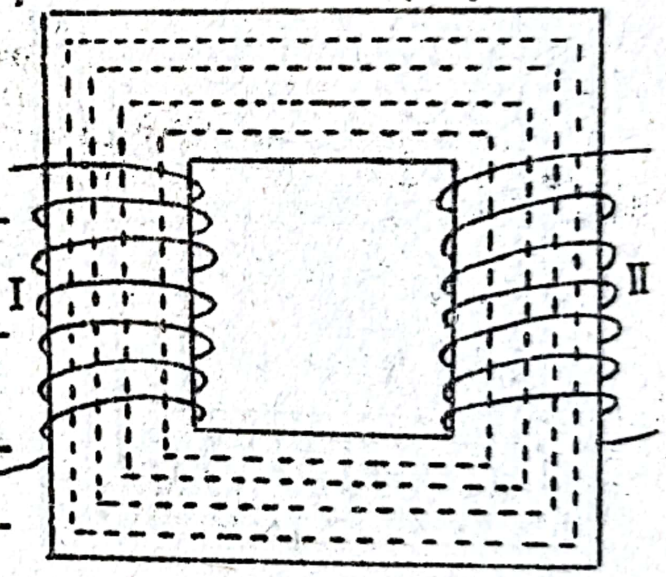
5) Transformatorii . Dacă practic, curentul voltaic serveşte la încărcarea acumulatorului, fapt pe care curentul alternativ nu poate să-l facă, în schimb acesta din urmă are marea superioritate de a se putea transforma extrem de simplu şi uşor cu organe imobile. Uşurinţa de a transforma acest curent face ca producerea de energie electrică să fie rezervată aproape în întregime acestui fel de curent.

Transformatorii servesc la modificarea tensiunii şi intensităţii, adică un curent alternativ de tensiune joasă dar de mare intensitate poate fi transformat tot în curent alternativ dar de tensiune înaltă şi mică intensitate. Transformarea se poa-

te face şi invers.

Posibilitatea unei astfel de transformări se poate întrezări astfel : din principiul conservării energiei, ştim că o energie se poate transforma în altă energie. Energia electrică care prin fenomenul de inducţie provine din energia mecanică, atîrnă de doi factori : intensitate şi tensiune. Dacă în cadrul acestei energii cei doi factori ai produsului ce ne dau energia electrică sînt modificaţi în aşa fel încît produsul lor să rămîie neschimbat, nu este nevoie de o altă energie, deci principiul conservării energiei este respectat.

Un transformator este format dintr-un patrulater constituit la rîndul lui din foi de fier moale (tole) avînd înfăşurată pe o latură o bobină (I)iar în jurul laturei paralele, o altă bobină (II).Dacă prin bobina (I) trimetem un curent alternativ, acesta va crea un cîmp de forţă magnetică, deci un flux magnetic, care va prefera să se închidă prin fierul foarte paramagnetic. Acest flux va traversa deci şi bobina(II). Cum curentul alternativ variază neîncetat ca intensitate şi direcţie, fluxul magnetic îmbrăţişat de spirele bobinei, va varia şi el.



În fiecare spiră din bobina (II) se naşte din cauza variaţiei fluxului, o diferenţă de potenţial (e). Fluxul fiind acelaşi şi variind la fel şi în bobina primară, diferenţa de potenţial pentru o singură spiră a circuitului primar va fi tot (e). Dacă circuitul secundar are n_2 spire şi cel primar n_1 spire, atunci extremităţile bobinei secundare va fi o diferenţă de potenţial totală $n_2 e$ pe care o notăm cu E_2. Deci : $E_2 = n_2 . e$, iar pentru circuitul primar va fi o diferenţă de potenţial : $E_1 = n_1 . e$

Făcînd raportul, obţinem :

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{n_2 . e}{n_1 . e} \quad \text{adică} : \quad \frac{E_2}{E_1} = \frac{n_2}{n_1} \quad (1)$$

Aşa dar raportul dintre diferenţa de potenţial la extremităţile bobinei secundare şi cea primară, este în raport direct cu numărul de spire dintre cele două bobine.

Raportul n_2/n_1 se numeşte raport de transformare. Conform principiului conservării energiei, efectul bobinei secundare nu poate fi decît cel mult egal cu cel al bobinei primare. Fie W_1 efectul bobinei primare şi W_2 efectul celei secundare. Efectul fiind produsul dintre tensiune şi intensitate, vom scrie :

$$W_1 = I_1 . E_1 \text{ şi } W_2 = I_2 E_2 \quad (2).$$

După cum am mai spus, W_1 fiind egal cu W_2, urmează că :

$$I_1 E_1 = I_2 E_2 \quad (3)$$

Impărţind ambii termeni ai ecuaţiei cu acelaşi factor $(E_1 I_2)$, obţinem :

$$I_1/I_2 = E_2/E_1 \quad (4)$$

de unde ţinînd seama de (1), avem :

$$I_1/I_2 = E_2/E_1 = n_2/n_1 \quad (5)$$

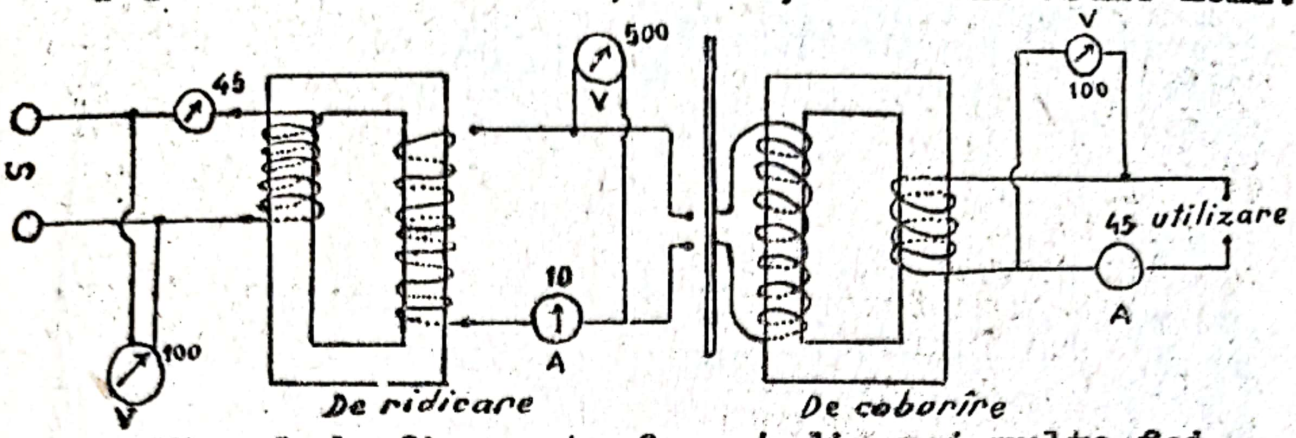
Deci cînd se transformă un curent electric alternativ, intensităţile din cele două circuite vor fi invers proporţionale cu tensiunile respective; aceste tensiuni vor fi direct proporţionale cu numărul firelor respective. Ne explicăm acum astfel, dece un curent cu intensitate mare şi tensiune mică poate fi transformat într-unul cu intensitate mică şi tensiune mare. Ecuaţia (3) ne arată că putem mări sau micşora în unul din circuite oricare din factori dacă în schimb vom micşora sau mări pe celălalt. Cînd vrem să micşorăm tensiunea curentului din secundar, vom face ca bobina indusă să aibă un număr cît mai mic de spire faţă de inductor şi invers în cazul cînd vrem să mărim tensiunea.

Vor fi astfel două feluri de transformatori :

- transformatori de ridicare sînt acei care ridică tensiunea şi scad intensitatea;
- transformatori de coborîre sînt acei care coboară tensiunea şi ridică intensitatea.

La transformatorul de ridicare creşte E pentru a putea transporta energia electrică pe distanţe mari căci firele fiind lungi, tensiunea scade. In acelaşi

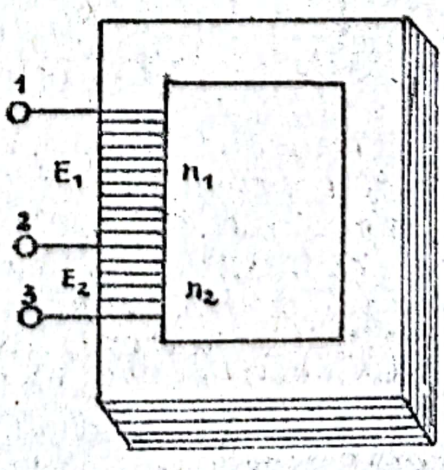
timp prin scăderea lui I, scade şi efectul Joule-Lenz.



Miezul de fier este format din mai multe foi pentru a suprima curenţii lui Foucault, care avînd drumul în formă de inele, vor fi siliţi să traverseze toate spaţiile pline cu aer şi lac izolator dintre foi care le opune o rezistenţă suficientă pentru ca intensitatea să fie aproape zero conform legii lui Ohm. Fără acest dispozitiv, curenţii lui Foucault ar încălzi bobinele şi miezul de fier consumînd energie în mod inutil şi stricînd izolaţia. Miezul magnetic se construieşte închis pentru ca liniile de forţă magnetică să se închidă prin fier. In felul acesta cîmpul este mult mai puternic, căci dacă ar avea extremităţile libere, liniile de forţă ar trebui să-şi închidă drumul prin aer, care le opune o mare rezistenţă şi deci slăbeşte forţa cîmpului.

Un transformator modern are un miez din plăci de ferosiliciu suprapuse, peste care se află o carcasă izolantă de preşpan, ce poartă bobinările cu sîrmă emailată.

Autotransformatorul este un transformator la care cele două înfăşurări sînt legate în serie. Prizele 1 şi 2 determină o bobină cu numărul n_1 de spire, iar prizele 2 şi 3 determină o altă bobină cu n_2 spire. Dacă prin prizele 1 şi 2 facem să treacă un curent alternativ cu o t.e.m. (E') vom recolta la prizele 2 şi 3 un curent transformat cu o tensiune (E'').



Si în acest caz, raportul tensiunilor electromotoare este egal cu numărul de spire. Deaceea cînd vrem ca transformatorul să micşoreze tensiunea, se introduce curentul prin prizele extreme 1 şi 3, între care numărul de spire este maxim. Curentul secundar transformat, este luat dela priza 2 şi dela una din extremităţi (1 sau 3).

Autotransformatorii au raportul de transformare cuprins între 0,6 şi 1,5 şi un randament de 0,8-0,98. La aceeaşi putere ei sînt mai mici decît transformatorii obişnuiţi întrucît folosesc acelaşi bobinaj.

Transformatorii de mare putinţă electrică ca şi cei care dau tensiuni ridicate, au spiralele complet cufundate în ulei pentru răcirea şi izolarea lor.

Din p.d.v. al frecvenţei, transformatorii se împart în :

- transformatori de frecvenţă industrială (cu o frecvenţă pînă la 50 Hz);
- transformatori de frecvenţă joasă (cu o frecvenţă pînă la 10^4 Hz);
- transformatori de frecvenţă înaltă (dela 10^4 Hz.).

Constructiv, deosebirea constă numai în confecţionarea circuitului magnetic : cu cît frecvenţa creşte, cu atît se subţiază foile şi se micşorează ca suprafaţă pentru a evita pierderile prin curenţi Foucault.

Consideraţiuni biologice şi aplicaţii în medicină.

Curentul de inducţie a găsit o largă aplicare într-o serie întreagă de cercetări datorită efectelor sale, efecte care pentru curentul faradic se grupează în următoarele trei grupe de fenomene :

- Fenomene motorii : o excitaţie faradică aplicată asupra unui muşchi, determină o contracţie (secusa) a acestuia. In cazul cînd excitaţia se aplică prin intermediul nervului, secusa este mult mai mare deoarece nervul tranmite excitaţia la toate fibrele muşchiului. După numărul excitaţiilor se poate căpăta fie tetanosul fiziologic perfect (cînd frecvenţa este foarte mare), fie tetanosul fiziologic imperfect cînd numărul de excitaţii este ceva mai mic.

BIBLIOTECA CENTRALĂ REGIONALĂ IAȘI

Dacă excitaţiile faradice se succed lent, muşchiul are timp să revie în starea de repaus şi apoi să se contracte din nou, ceea ce constituie o excelentă gimnastică musculară, utilizabilă în diverse atrofii post-nevritice, chirurgicale, reflexe, etc. Perioada de relaxare trebuie să fie de 6/100 sec., iar cea de contracţie 4/100 sec., iar perioada de repaus trebuie să fie tot cam de 10/100 sec. Această gimnastică musculară duce la hipertrofia evidentă a muşchiului.

In cazul cînd excitaţiile se succed mai repede şi prind muşchiul în perioada de energie descrescîndă, curba de contractare se accentuează iar cea de relaxare se micşorează, cu tendinţa la fuzionare parţială, obţinîndu-se astfel "masajul vibrator" ce se utilizează cu succes în tratamentul varicelor.

Cînd perioada de relaxare a muşchilor este complet suprimată prin excitaţii electrice foarte rapide, se obţine o faradizare tetanizantă ce contribuie la atrofia fibrei musculare, urmată de degenerescenţa grăsoasă. Faradizarea produce contracţii şi pentru unele organe cu muşchi netezi (intestin, vezică, uter, vagin).

Fiecare excitaţie faradică a unui nerv vegetativ produce secreţia unei substanţe chimice (acetil cholină sau simpatină). Ea acţionează asupra nervilor periferici, în special asupra sistemului nervos simpatic.

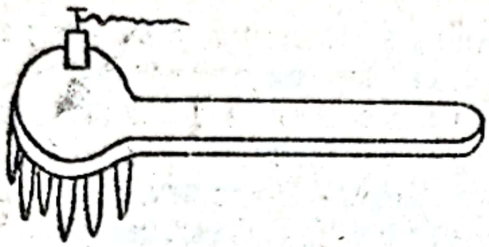
Efectele motorii care se produc asupra nervilor motori şi a muşchilor se explică astfel : la fiecare întrerupere se produce o schimbare bruscă în concentraţia ionică, care schimbare excită terminaţiile nervilor motori şi sensitivi, producînd pe de o parte contracţia muşchilor, iar pe de altă parte, o senzaţie ce merge dela ciupitură la durere de diferite intensităţi.

- Fenomene sensitive. Sînt datorite acţiunii asupra nervilor sensitivi. Variază cu intensitatea curentului şi sînt pur subiective. La o excitaţie cu intensitate mică, se capătă o senzaţie de gîdilitură, iar pe măsură ce creşte intensitatea, se simt furnicături, înţepături, arsuri ce devin din ce în ce mai puterhice, ca apoi senzaţia să devină dureroasă.

Fenomenele sensitive sînt mai evidente la polul negativ.

Totuşi curenţii faradici administraţi raţional şi cu electrozi umezi, exercită de obicei o remarcabilă acţiune analgezică prin efect descongestionant, în cazurile în care se utilizează bobina cu fir mai gros, sau direct inhibitoare asupra nervilor sensitivi, prin utilizarea bobinei cu fir mai subţire.

O acţiune inhibitorie şi sedativă maximă se obţine prin practicarea de " revulsie faradică" utilizînd electrozii lui Tripier ce se leagă la un pol al unei surse de curent faradic, celălalt pol, cel indiferent, fiind constituit dintr-o placă obişnuită aplicată într-o regiune oarecare. Această revulsie se întrebuinţează ca reductor al sensibilităţii, revulsiv local sau regional, avînd calitatea de a păstra pielea intactă, fapt care ne dă posibilitatea să o repetăm cît mai des.



- Fenomene vaso-motorii. Sînt datorite acţiunii asupra nervilor vaso-motori. Asupra vaselor acţionează deosebit şi anume : în şedinţe scurte determină manifeste efecte vaso-constrictoare şi descongestionante, iar în şedinţe mai lungi au calitatea de regulator al circulaţiei devenind apoi congestionant al unor organe cum ar fi uterul, prin fenomenul de vaso-dilataţie paralitică.

Curenţii faradici nu au nici o acţiune chimică, contrarie curentului galvanic, deaceea nu dau escare epidermice. Tot aşa nu dau accidente mortale ca cei alternativi. In schimb au dezavantajul că se poate produce cu unele aparate, tetanizarea muşchilor, cu urmările ei dezastruoase (degenerescenţa).

Din cauza grupelor mari de efecte studiate mai sus, curenţii faradici se întrebuinţează în :

- combaterea atrofiilor musculare (chirurgicale ,reflexe), consecutive nevritelor numai în cursul ultimei faze regresive a reacţiei de degenerescenţă;
- în guşa exoftalmică, prin faradizarea nervilor simpatici cervicali şi a glandei tiroide;
- în combaterea contracturilor prin excitaţii faradice ale muşchilor antagonişti;

- în pareziile rectale;
- în unele staze circulatorii şi afecţiuni ale muşchilor cu fibre netede;
- în gută şi obezitate (în afara crizelor dureroase);
- în studiul electrodiagnosticului. In acest scop se va utiliza bobina cu fir subţire căci cea cu fir gros sau mijlociu are rezistenţă nulă.

Dat fiindcă importanţei determinărilor de electrodiagnostic, vom cerceta pe larg acest examen.

Determinarea excitabilităţii neuro-musculare, adică determinarea stării funcţionale a sistemului neuro-muscular, se poate face prin mai multe metode dintre cari cele mai folosite sînt :

- electrodiagnosticul clasic;
- electrodiagnosticul modern (metoda cronaxinometrică);
- electrodiagnosticul prin curenţi progresivi.

1) Electrodiagnosticul clasic

Se poate face cu ajutorul curentului continuu şi faradic. Deaceea pentru această metodă avem nevoie de o sursă de curent continuu (pînă la 60-80 v) şi de una de curent de inducţie. Aceste două surse se pot reuni într-un aparat numit Pantostat sau Neostat.

Ambele sînt aparate practice cu ajutorul cărora se poate obţine curent galvanic, faradic şi alte procedee medicale ca : endoscopia, coagularea, masagii vibratorii, etc. Din această cauză aceste aparate au intrat foarte curent în practica medicilor şi în instalaţiile de fizioterapie.

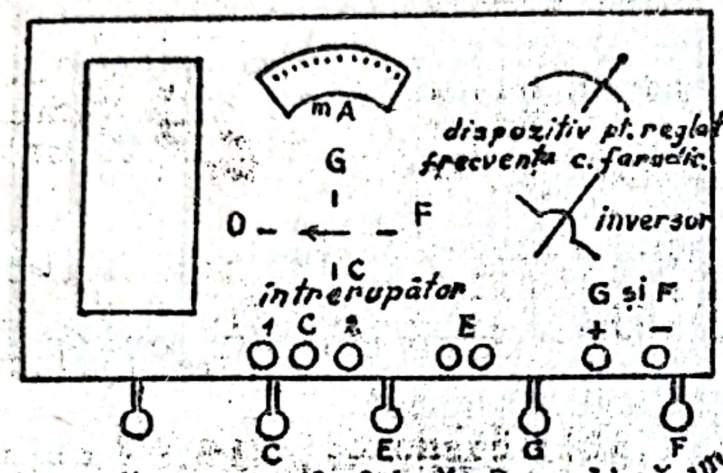
Neostatul este un aparat mai complex decît Pantostatul, fiind înzestrat în afară de tot utilajul pentru galvanizări, faradizări, endoscopie şi electrocoagulare, dispozitive pe care le are şi cel din urmă, şi cu dispozitive în plus ca : dispozitive pentru duşuri de aer cald şi masaje vibratorii.

Amîndouă sînt însă construite pe principiul inducţiei e.m. şi sînt construite din :

- un dinam ce este alimentat dela curentul oraşului (110-220 v.) ce pune inelul cu bobinele indusului în mişcare cu o viteză ce se poate mări sau micşora prin scoaterea sau băgarea unei tije gradate (la Pantostat) sau rotirea unui buton(la Neostat).

Curenţii căpătaţi, se recoltează prin colectorul cilindrului şi sînt distribuiţi prin cablurile din interiorul casetei aparatului, la diferitele servicii : galvanic, faradic, cauter, endoscopie, sinusoidal, etc.;

- Intrerupătorul bobinei faradice care se poate regla şi controla cu uşurinţă.
- Un întrerupător - inversor.
- Un întrerupător simplu.
- Un miliampermetru.
- Bornele dela care se culeg curenţii pentru circuitul de utilizare.



In dreptul fiecărei borne este arătat pe o placă metalică, felul curentului pe care-l căpătăm precum şi polaritatea respectivă.

In interiorul cutiei aparatului se găsesc o bobină faradică, un transformator de curent, rheostate cu cursor.

Pe faţa laterală a cutiei corespunzătoare bornelor de utilizare şi în dreptul fiecărei perechi de borne, se găseşte cîte o tijă terminată cu cîte o sferă metalică. Aceste tije sînt solidare cu cursorii rheostatelor şi servesc la reglarea curentului, în care scop tijele au imprimate pe ele nişte diviziuni pentru a aprecia curentul dela o şedinţă la alta, dar fără să constituie o măsurătoare propriu zisă a curentului respectiv.

Bornele pentru endoscopie servesc la alimentarea sistemului de iluminat al diferitelor endoscoape prevăzute cu becuri ce sînt alimentate cu o tensiune de 2-4 v.

Bornele pentru caustic servesc să alimenteze galvano-cauterele ce au nevoie de o intensitate mare (10-15 amperi).

La Neostat se mai pot adapta utilajele necesare pentru masajii vibratorii şi instrumentaţia necesară trepanaţiei şi chirurgiei osoase în general. Mai adăugăm că la aceste aparate, curentul faradic se obţine trecînd curentul dela dinam printr-o bobină de inducţie (ce se găseşte în interiorul cutiei aparatului).

Ca metodă de lucru pentru excitaţii, se efectuează metoda unipolară.

Tehnica :

Se face întîi un electrodiagnostic prin explorare faradică şi apoi galvanică şi întotdeauna se face întîi de partea sănătoasă (pentru a stabili pragul) şi apoi de partea afectată. Cu electrodul activ se caută punctul motor al muşchiului respectiv. Punctul motor este punctul de pe tegumente unde trebuie să plasăm electrodul activ pentru a obţine o contracţie a unui singur muşchi, cu cea mai mică intensitate posibilă. Trebuie să deosebim două feluri de puncte motoare : ale nervilor şi ale muşchilor. Punctele motoare ale nervilor sînt acolo unde nervii merg direct sub piele; iar punctele motoare ale muşchilor, corespund regiunilor unde nervii motori intră în muşchi (la placa motorie). Pentru uşurinţă, sînt tablouri ce reproduc punctele motoare ale muşchilor din organism.

Modificările excitabilităţii faradice

1.-Modificări cantitative :

- hiperexcitabilitate (paralizii cerebrale, tetanos, tabes incipient, crampe profesionale);
- hipoexcitabilitate (paralizii cerebrale cronice, tabes, scleroză în plăci, nevrite periferice, atrofii musculare, miopatii primitive);
- abolire (miopatii vechi).

2.- Modificări calitative.

- reacţia miastenică - Jolly constă în dispariţia rapidă a contracţiei, deci oboseala muşchilor cu acţiune continuă (a globilor oculari). Este caracteristică miasteniei grave pseudo-paralitice;
- reacţia miotonică - Thomson constă într-o contracţie lentă ce tinde să devină tonică. Este caracteristică miotoniei congenitale.

Modificările excitabilităţii galvanice

1.- Modificări cantitative :

- hiperexcitabilitate (iritaţii nervoase prin compresiune la nivelul găurilor de conjugaţie, în inflamaţii ale învelişurilor nervoase fără leziuni degenerative şi se traduc clinic prin dureri sau nevralgii);
- hipoexcitabilitate (atrofii reflexe prin imobilizare, artrite, nevralgii persistente).

2.- Modificări calitative :
- subsistenţa contracţiei după dispariţia excitaţiei (reacţia miotonică);
- deplasarea punctului motor (reacţia longitudinală - Remack-Doumer);
- egalarea sau inversarea polară între IN şi IP (reacţia lui Erb);
- contracţia muşchiului în timpul trecerii curentului (reacţia galvanotonică);
- egalare polară între închidere şi deschidere (reacţia lui Rich).

Din combinarea excitabilităţilor la cele două feluri de curente, poate rezulta :

1) Hipoexcitabilitate faradică şi galvanică : (reacţia de degenerare).

2) Hipoexcitabilitate faradică şi excitabilitate galvanică normală :
(hemiplegii vechi, miopatii primitive, amiotrofii reflexe articulare, paralizii reumatismale uşoare).

3) Hipoexcitabilitate faradică şi hiperexcitabilitate galvanică :
(în aceleaşi cazuri ca şi în 2, numai în cazurile mai avansate a leziunilor).

4) Hiperexcitabilitate faradică şi galvanică:
(hemiplegii recente, maladia Little, hemiplegii infantile, unele chorei, tetanie, tabes - debut).

Dintre modificările patologice o mare importanţă are reacţia de degenerare care traduce o leziune a neuronului motor periferic.

Leziunea neuronului motor periferic există în următoarele afecţiuni :
- poliomielită (afecţiune a coarnelor anterioare);
- paralizii radiculare (leziuni ale rădăcinilor motorii);
- nevrite, alteraţii traumatice, etc.(leziuni ale nervilor motori periferici).

Modificările electrice ce întovărăşesc reacţia de degenerare apar din ziua a doua a secţiunii nervoase şi continuă cîteva săptămîni, ele referindu-se atît la excitabilitatea nervului cît şi la cea a muşchiului.

La început, pentru un timp foarte scurt cresc excitabilităţile galvanică şi faradică ca apoi să scadă pentru a deveni nulă spre ziua a lo-a. Excitabilitatea faradică diminuă regulat şi devine nulă

la sfîrşitul săptămînii a doua. Excitabilitatea galvanică diminuă timp de cca.o săptămînă,creşte apoi şi devine superioară normalei. Această hiperexcitabilitate galvanică poate persista un timp foarte lung atunci cînd toate celelalte alterări ale reacţiilor electrice au dispărut, lucru foarte important de reţinut. In această perioadă apar diverse modificări calitative ale excitabilităţii galvanice. Mai întîi o încetinire a secusei cu contracţie galvanotonică. Spre sfîrşitul săptămînii a doua apare inversiunea formulei : IP>IN. Apoi excitabilitatea galvanică diminuă şi este înlocuită cu hipoexcitabilitate, care se termină după un timp foarte lung, cîteodată de luni, cu pierderea completă a oricărei excitabilităţi. In acelaşi timp cu diminuarea excitabilităţii se obţine din ce în ce mai uşor, excitaţia longitudinală.

Reacţia de degenerare constituie un element de localizare a leziunii. Din punct de vedere al prognosticului, acesta va fi cu atît mai grav,cu cît leziunea este mai aproape de măduvă; de asemenea pentru a se pronunţa pentru o reacţie de degenerare trebuie lăsat un timp de două săptămîni dela începutul bolii, pentru ca reacţia să aibă timp să evolueze.

2) Electrodiagnosticul modern

Se poate face pe orice animal. Totuşi deoarece la om se întrebuinţează excitarea nervilor şi a muşchilor prin intermediul pielii, se creează o dificultate prin faptul că pielea nu este un conductor ce se supune legilor lui Ohm. Astfel ea deformează curentul care o traversează. Pentru a diminua pe cît posibil acest fenomen,se adaugă subiectului rezistenţe metalice, astfel încît diferenţa de potenţial a sursei să fie mult mai ridicată decît t.e.m. de polarizare. Practic însă nu vom depăşi 200-300 v.ca voltaj de excitare din cauza pericolului de electrocutare.

Ca metodă de cercetare se foloseşte metoda descărcărilor de condensator, pentru care se folosesc două procedee : a lui Bourguignon şi a lui Lapicque.

Metoda lui Bourguignon

Este folosită pentru animalele mari (om,cîine,etc). Se face pe masa de chronaxie, compusă astfel :

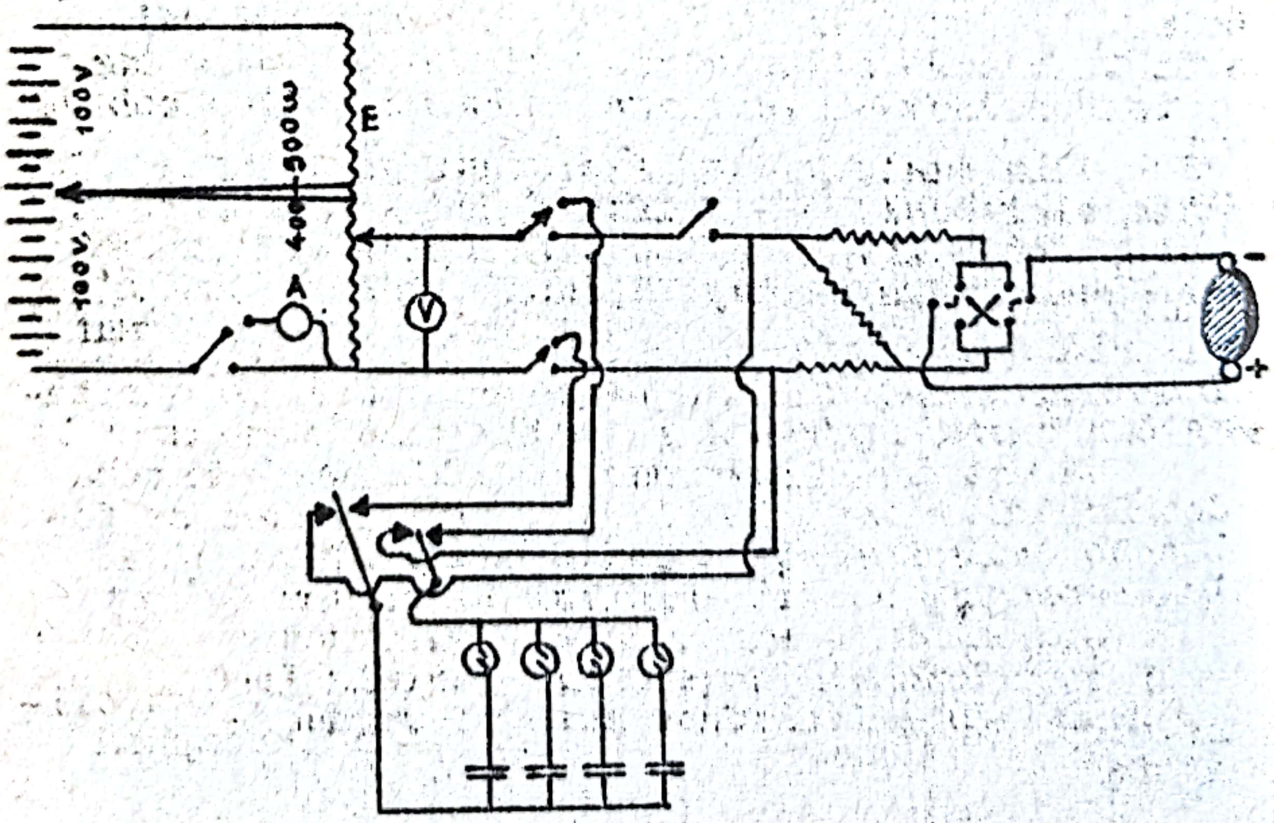
- o sursă de curent continuu de 100 v.pentru determinarea rheobazei şi de 200 v pentru dublu rheobazei;
- un reductor de potenţial (E) cu o rezistenţă de 400-500 ohmi;
- o cheie cu dublu contact pentru închis şi deschis circuitul;
- o altă cheie cu dublu contact pentru curentul galvanic sau descărcare de condensatori;
- un inversor de curent;
- o baterie de condensatori cu valori cuprinse între 0,005 şi 20,0 microfarazi;
- o serie de rezistenţe fixe, la care se montează animalul de examinat.

Pentru calcularea chronaxiei prin acest procedeu, ne servim de formula lui Lapicque, în care chronaxia (exprimată în miimi de secundă), este egală cu :

$$\frac{C.R.K}{1000}$$

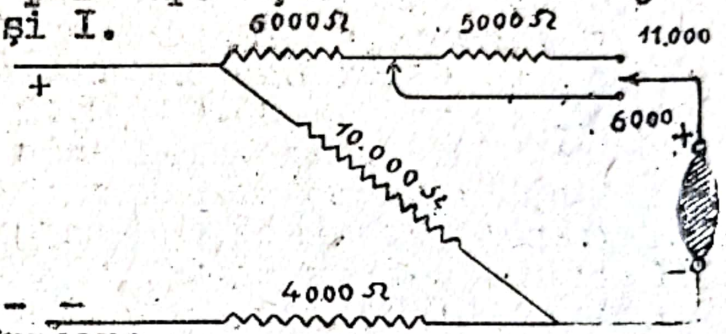
Deci durata de descărcare a unui condensator este proporţională cu produsul dintre capacitate (C), rezistenţa circuitului de descărcare (R) şi coeficientul de calculare (K) a acestei durate şi care este egal cu 0,37.

In această formulă necunoscuta este reprezentată de rezistenţa (R) a circuitului de descărcare.



Deoarece rezistenţa individului de examinat este imposibil de determinat căci depinde de foarte mulţi factori ocazionali, practic el se introduce într-un circuit derivat cu o rezistenţă r' constantă şi cunoscută; oricare ar fi rezistenţa individului de analizat.

Subiectul este aşezat în serie cu o rezistenţă de 11.000 ω în una din ramurile derivate, rezistenţă care poate fi însă coborîtă pînă la 6000 ω . Această valoare de 6000 este valoarea minimă cu care se poate lucra în cazul cînd pragul galvanic este prea ridicat, căci cu o valoare mai mică se falsifică rezultatele prin apariţia unui decalaj între valorile lui V şi I.



In derivaţie cu el este o altă rezistenţă de 10.000 ω şi în fine, mai există o altă rezistenţă de 4000 ω montată în serie în circuitul general, înainte de bifurcare.

In acest mod curentul are o rezistenţă constantă, oricare ar fi variaţiile rezistenţei aparente a subiectului. Practic de ex. dacă rezistenţa individului ar fi 2000ω, rezistenţa redusă (r') va fi de : $r' = 11.000 + 2000 = 13.000\ \omega$

$$\frac{r.r'}{r+r'} = \frac{10.000 . 13.000}{10.000 + 13.000} = 5690\ \omega$$

Rezistenţa totală (R) va fi : 5690+4000=9690ω

Dacă rezistenţa individului ar fi de ex.de 50.000 ω , rezistenţa redusă (r') va fi :

$$r' = 11.000 + 50.000 = 61.000\ \omega$$

$$\frac{r.r'}{r+r'} = \frac{10.000 . 61.000}{10.000 + 61.000} = 8590\ \omega$$

Rezistenţa totală (R) va fi : 8590+4000=12590ω

Deci în rezumat, deşi am luat diferenţe mari pentru rezistenţa individului, totuşi rezistenţa totală variază foarte puţin, valoarea medie fiind 11.000 ω , adică atît cît este rezistenţa cea mai mare de pe circuit. Această valoare de 11.000 variind foarte puţin se consideră ca fixă, aşa că pentru simplificarea formulei lui Lapicque, R fiind egal cu 11.000, spunem :

$Ch = 4,070.C$

Dacă se exprimă capacitatea chronaxică în mi-

crofarazi, se poate scrie :

Ch = 0,004.C (un condensator cu o capacitate de 1 F se descarcă în timp de 4 σ).

Deci este destul de a înmulţi capacitatea chronaxică exprimată în microfarazi cu 4, pentru a avea valoarea chronaxiei exprimată în miimi de secundă(σ).

Tehnica de lucru : se determină rheobaza pe circuitul galvanic de 100 v.,se dublează valoarea şi se trece pe circuitul de condensatori.Valoarea cea mai mică a condensatorilor la care apare contracţia prag va da chronaxia.

De exemplu găsim rheobaza de 30 v.Dublul ei va fi 60 v. Găsim capacitatea chronaxică egală cu 0,03μ F, de unde 0,03.4 = 0,12 σ

Dacă însă pragul galvanic este prea mare(de ex.110 v) şi nu putem dubla rheobaza, se caută capacitatea (C) care ne dă pragul cu voltajul maxim (200 v) şi aplicăm apoi legea lui Hoorweg, în care se cunoaşte C,V şi b (rheobaza).

Legea lui Hoorweg fiind : C.V = a+b.c rezultă : a = C.V - b.c = C (V-b)

C = a/b = C (V-b)/b

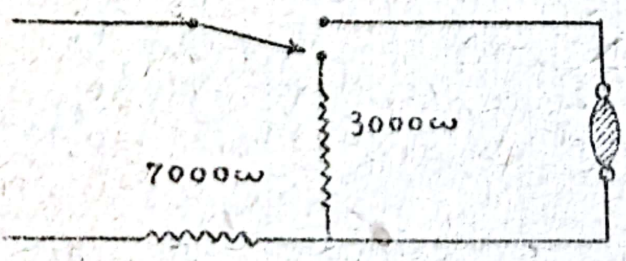
Am găsit de exemplu C = 0,5μ F, V=200 v şi b = 110 v. Aplicăm formula :

C =0,5 (200-110)/110 = 0,5.90/110 =45/110=0,4 σ

Metoda lui Lapicque

Este aplicabilă la studiul chronaxiei animalelor mici (iepuri, şoareci, etc) şi nu diferă de precedenta decît prin montarea rezistenţelor în circuitul în care se montează animalul de experienţă. Pentru această metodă, sînt două cazuri : sau studiem rezistenţa nervilor, care este întotdeauna considerabilă (cca.70.000 ω)sau rezistenţa muşchilor, care este oarecum constantă şi mică (cca.3000ω pentru broască).

Circuitul este format dintr-o rezistenţă de 7000ω montată în serie cu preparatul şi una de 3000ω montată în derivaţie.



Cînd se excită nervul, utilizăm tot circuitul astfel că ansamblul circuitului are o rezistenţă totală de cca.10.000ω, indiferent de

valoarea rezistenţei proprii a nervului.

Cînd se excită direct muşchiul, deoarece rezistenţa lui variază foarte puţin (căci electrozii se aşează întotdeauna cam la 1 cm distanţă), ansamblul va avea o rezistenţă totală tot cam de 10.000 ω (7000 ω pentru circuit şi 3000 ω pentru muşchi).

In unele cazuri se întrebuinţează şi o rezistenţă suplimentară de 10.000 ω montată în serie cu precedentele pentru a diminua şi mai mult variaţiile rezistenţei preparatului de studiat.

Legile chronaxiei.

Distribuţia chronaxiei nu se face la întîmplare, ci după anumite legi descoperite de Bourguignon :

I.Fiecare sistem excitabil (nerv sau muşchi) se caracterizează funcţional prin excitabilitatea sa proprie care se măsoară prin chronaxie.

II.Cronaxia este în raport cu durata contracţiei muşchiului, adică chronaxia este mare pentru o contracţie mare (muşchii netezi) şi mică pentru o contracţie rapidă (muşchii scheletici), ea depinzînd de funcţia pe care o îndeplineşte în organism.

III.Chronaxia nervului motor este egală cu acea a muşchiului pe care-l inervează (legea izochronismului neuro-muscular).

Unele otrăvuri distrug acest izochronism : curara creşte chronaxia muşchiului, fără a o modifica pe cea a nervului; stricnina diminuă chronaxia nervului, a muşchiului rămânînd neschimbată; oboseala creează un heterochronism asemănător celui dat de curara. Cînd chronaxia muşchiului este dublă celei a nervului respectiv, muşchiul nu mai poate fi excitat prin intermediul nervului său.

IV.Muşchii extenzori (posteriori) au o chronaxie dublă muşchilor flexori (anteriori).Raportul este deci de 1/2.

V.Toţi muşchii sau porţiuni de muşchi sinergici ai aceleeaşi mişcări în acelaşi segment de membru, au aceeaşi chronaxie.

VI.Chronaxia nervului sensitiv este egală cu cea a nervului motor corespunzător (legea izochronismului nervului sensitiv şi a nervului motor).

VII.Pentru aceeaşi funcţie, considerînd două segmente ale aceluiaşi membru, chronaxia este mai

mică pentru muşchii proximali.

VIII.Sistemul senzorial este heterochron cu sistemul senzitivo-motor.

Pe lîngă aceste legi, mai sînt şi două ipoteze date tot de Bourguignon :

a)reacţiile neuronilor asupra altora, pare să se facă după chronaxia lor. Totul pare să se petreacă ca şi cum sistemul nervos constituie un sistem de rezonanţă (o celulă nervoasă primeşte excitaţia de la o altă celulă nervoasă dacă este în rezonanţă - adică au aceeaşi chronaxie);

b)chronaxia motorie periferică pare să fie modificată prin acţiunea centrilor nervoşi (în somn, reflexe condiţionate).

In ce priveşte chronaxia muşchilor, s-au stabilit următoarele legi generale :

1. Chronaxia clasează muşchii în grupe funcţionale. Astfel muşchii sau fascicolele musculare dintr-o aceeaşi regiune care sînt sinergici pentru aceeaşi mişcare, au aceeaşi chronaxie.

2. Toţi muşchii corpului se împart în două mari grupe : ai reg.proximale şi ai reg.distale.

Sînt proximali muşchii gîtului, trunchiului, umerilor, braţelor, ai centurii pelviene şi coapselor.

Sînt distali : ai capului, antebraţului şi mîinii, gambei şi piciorului.

Repartiţia funcţională şi regională a chronaxiilor poate fi reprezentată schematic astfel :

reg.proximală	muşchii anteriori	=0,06-0,14 σ
	muşchii posteriori	=0,16-0,34 σ
reg.distală	muşchi anteriori	=0,16-0,34 σ
	muşchii posteriori	=0,40-0,70 σ

Deci nu sînt decît 3 grupe de chronaxii.

3. In fiecare regiune, muşchii care produc o deplasare înainte au o chronaxie egală cu cca. jumătate din aceea a muşchilor care produc o mişcare înapoi.

La faţă,muşchii scoborători sînt homologi muşchilor anteriori, iar muşchii ridicători sînt homologi celor posteriori.

4. Chronaxia împarte muşchii sau fascicolele musculare posterioare (sau homologii lor) în două grupe :

- aceia care acţionează în sens contrar muşchilor anteriori (sau homologilor lor) şi care sînt adevăraţii antagonişti şi care au o chronaxie

mai mare decît muşchii anteriori;

- aceia care sînt sinergici cu muşchii anteriori şi care au drept funcţie, moderarea şi reglarea acţiunii, jucînd rolul de frîne. Aceşti muşchi au aceiaşi cronaxie ca şi muşchii anteriori.

Studiul chronaxiei a arătat că în realitate numai muşchii anteriori sînt muşchi simpli, muşchii posteriori fiind cîteodată şi muşchi dubli, fiecare avînd o funcţie diferită. Aşa se explică faptul că acest muşchi au cîteodată două puncte motorii şi două chronaxii, dintre care una egală şi alta dublă celei a muşchilor anteriori. Muşchii posteriori cu chronaxie mare sînt veritabilii antagonişti ai muşchilor anteriori, pe cînd cei cu chronaxie mică, contractîndu-se simultan cu cei anteriori, le moderează acţiunea. După legea lui Bourguignon ei trebuie să aibă aceiaşi chronaxie ca şi muşchii cu care sînt în relaţii funcţionale.

Nervii sînt ansambluri complexe de fibre cu chronaxii diferite, fiecare fibră avînd aceeaşi chronaxie ca şi fascicolul pe care-l inervează.

Chronaxia nervilor sensitivi. Bourguignon a obţinut trei feluri de senzaţii după regiunea cutanată excitată şi anume : una de şoc, a doua de furnicături şi a treia de căldură. Pentru fiecare senzaţie dintre aceste trei grupe, corespunde o chronaxie specială.

De exemplu punctele de pe tegumente la care corespunde senzaţia de şoc, au aceeaşi chronaxie ca şi muşchii subjacenţi. Pentru punctele de pe tegumente ce corespund senzaţiei de furnicături, chronaxia este de 5 ori mai mare, în timp ce pentru punctele corespunzătoare senzaţiei de căldură, chronaxia este de 10 ori mai mare.

Excitînd nervii sensitivi, găseşte existenţa unei chronaxii ce corespunde celei pentru senzaţia de şoc şi o chronaxie corespunzătoare senzaţiei de furnicături. Nu obţine însă niciodată prin excitarea electrică a nervilor, senzaţia de căldură. De aici se deduce că această senzaţie este transmisă prin intermediul sistemului nervos simpatic, care de altfel are aceeaşi chronaxie ca şi orice acţiune ce depinde de sistemul vegetativ.

Chronaxia nervilor organelor de simţ. Este mai mare decît cea a nervilor senzitivo-motori. De ex. la retină, Bourguignon descoperă două chronaxii:

una de 2σ ,corespunzătoare celulelor cu conuri şi una de 1σ corespunzătoare celulelor cu bastonaşe. Tot el în colaborare cu M-lle Dejean, luînd drept răspuns înclinarea capului, a putut să-i exploreze chronaxia nervilor vestibulari, găsind-o cuprinsă între 10-20σ ,chronaxie vecină celei a sistemului simpatic.

Modificările patologice ale chronaxiei

Chronaxia are o mare importanţă pentru depistarea stărilor patologice. In mare, orice încetinire funcţională se întovărăşeşte de o creştere a chronaxiei şi invers.

1) In cursul reacţiei de degenerescenţă, la început în timpul unei perioade foarte scurte de timp, scade, după care începe să crească progresiv pînă atinge valori de 100-1000 ori mai mari decît în stare normală. Electrodiagnosticul modern permite astfel decelarea chiar de la început a fenomenelor de degenerescenţă, în timp ce cu metoda clasică acest lucru nu este posibil decît după cca. două săptămîni. In afară de aceasta, în metoda modernă nu mai e vorba de o apreciere subiectivă, ci de una independentă de observator.

Cînd reacţia de degenerare nu e completă se pot găsi pe acelaşi muşchi, diverse chronaxii. Excitarea longitudinală va da cel mai adesea, valori chronaxice mai ridicate decît excitarea punctelor motorii, unde de altfel se pot găsi chronaxii diferite după cum se excită fibre mai mult sau mai puţin atinse de degenerescenţă. Excitarea nervilor motori provoacă întotdeauna contracţia fibrelor cu chronaxie mică. Cînd chronaxia fibrelor musculare este prea mare,nu mai este posibilă contracţia indirectă. Cînd survine procesul de restaurare în urma unei suturi nervoase, chronaxia începe să diminue,căpătînd astfel o indicaţie precoce extrem de preţioasă pentru diagnostic şi prognostic.

2) In hemiplegia flască nu se observă nici-o modificare, iar în hemiplegia cu contractură ea scade în punctele motorii ale muşchilor contractaţi şi creşte în punctele motorii ale muşchilor antagonişti.

De altfel ea scade în toate fenomenele de contracturi.

3) In crizele dureroase din tabes, nevralgii, zona zoster, etc.,leziunea unui neuron sensitiv poate să acţioneze nu numai asupra muşchilor şi nervilor motori de aceeaşi parte ci şi asupra organelor simetrice (fenomenul de repercuţie).

4) Tot cu ajutorul chronaxiei ne putem da seama de alterarea reflexelor din cursul bolilor nervoase. Neuronii motori şi sensitivi asociaţi într-un acelaşi reflex, au chronaxii egale (legea izochronismului nervos). De ex. nervii plantari avînd aceeaşi chronaxie cu flexorii degetelor, prin excitarea nervilor plantari se produce în mod normal flexia degetelor. In caz de leziuni ale sistemului pyramidal, chronaxia extenzorilor degetelor are o valoare dublă, în timp ce acea a flexorilor diminuă la jumătate. Cum chronaxia sensitivă a nervilor plantari nu este modificată, rezultă un nou izochronism care se stabileşte între nervii plantari şi extenzorii degetelor, producîndu-se mişcarea de extenzie, mişcare care caracterizează fenomenul Babinsky.

Chronaxia este independentă contigenţelor experimentale în afară de temperatură. Astfel,creşterea temperaturii produce o creştere a rheobazei şi o diminuare a chronaxiei. Scăderea temperaturii influenţează în mod invers. Pentru o variaţie de temperatură de 10° în plus sau în minus, chronaxia devine de 1,7 ori mai mare sau mai mică.

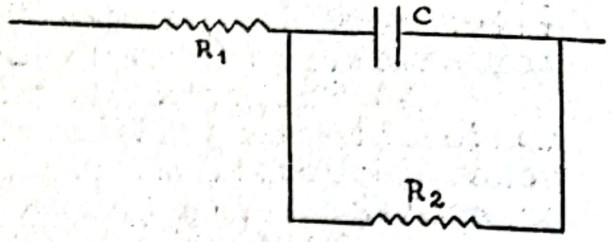
3) Electrodiagnosticul prin curenţi progresivi

După ce se determină pragul excitaţiei prin închiderea curentului continuu şi se creşte apoi destul de lent curentul pînă se ajunge la intensitatea rheobazică în loc de a o stabili brusc, nu se obţine nici un răspuns. Lapicque arată că întîrzierea minimă susceptibilă de a provoca această dispariţie şi căreia el i-a dat numele de pragul chinalizei, creşte cu perioada latentă de funcţionare a sistemului explorat, deci în stare patologică cu starea de degenerescenţă a muşchilor excitaţi.

Bazat pe aceste fapte, Duhem stabileşte un nou sistem de electrodiagnostic, bazat tocmai pe valoarea întîrzierii necesare pentru a anula eficacitatea curentului rheobazei.

Se obţin curenţi progresivi cu o viteză de stabilire uşor reglabilă, utilizînd montajul lui

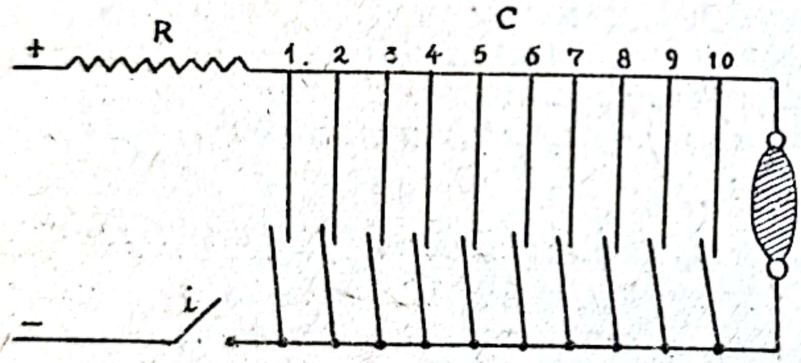
Lapicque şi care constă în a monta o rezistenţă în serie cu individul de examinat şi un condensator în derivaţie cu el, realizîndu-se astfel un circuit identic celui pentru măsurat conductibilitatea ţesuturilor vii. Cu cît condensatorul (C) are o capacitate mai mare, cu atît curentul se stabileşte mai lent.



Constanta de timp care suprimă eficacitatea unui curent rheobazic, este sensibil egală cu 5/3 din chronaxie.

Pentru a face ineficaci curenţii galvanici cu o intensitate superioară pragului, trebuie să întrebuinţăm întîrzieri mai mari. Aşa de exemplu, unui curent ce corespunde dublului rheobazei, îi corespunde o constantă de timp numită constanta de climalizăce este cuprinsă între 10-20 chronaxii.

Pentru explorarea clinică, Duhem întrebuinţează un sistem de circuit ce cuprinde o rezistenţă de 2000 ω şi o baterie de condensatori cu capacităţi ce cresc şi care se introduc succesiv în paralel cu subiectul, conform schemei alăturate. Aşa dar, capacitatea ce acţionează este suma tuturor capacităţilor puse în circuit.



Tehnica de examen constă în a căuta întîi pragul în absenţa oricărei capacităţi şi apoi de a introduce atîţia condensatori, cît trebuie pînă dispare contracţia.

Starea de alterare a muşchiului este în raport direct cu numărul de microfarazi necesari pentru a ajunge la acest rezultat.

Pînă la 2 μF, trebuie să considerăm muşchiul ca normal. Deasupra acestei valori, pentru a obţine răspunsul, putem utiliza pînă la 50 μF, în cazurile de degenerescenţă profundă.

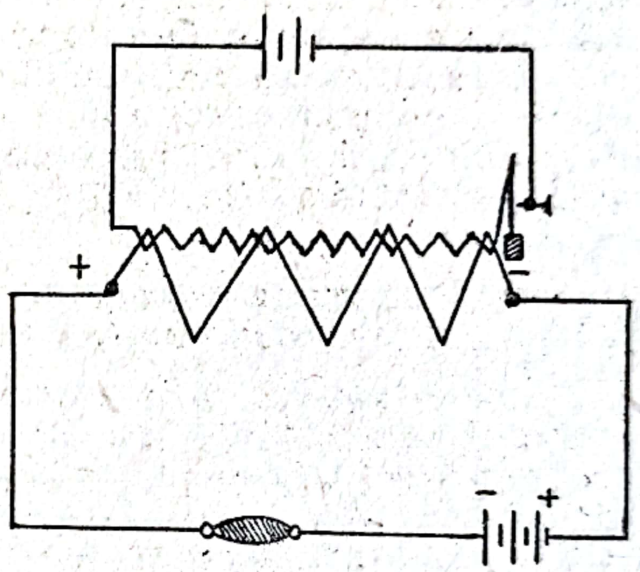
Este un oarecare paralelism între creşterea chronaxiei şi a pragului climalizei. Cînd acesta

din urmă corespunde la 4-5 μF, chronaxia are o valoare de 5-6 ori superioară celei normale. Trebuie să remarcăm că într-un muşchi pe cale de degenerescenţă, fibrele excitate nu sînt aceleaşi pentru cele două moduri de excitaţie, căci măsurătorile prin climaliză merg electiv pe părţile cele mai atinse ale muşchiului.

Curentul galvano-faradic

Este numit şi curentul lui Watteville şi se obţine din combinarea curentului galvanic cu cel faradic, căpătîndu-se astfel un curent mixt.

Pentru a produce un astfel de curent nu avem decît să montăm o sursă de curent continuu în bobina secundară a unei bobine de inducţie.



După cum tensiunea undei de deschidere a curentului galvanic şi faradic sînt de acelaşi sens sau de sens opus, se obţine montarea în serie sau în opoziţie.

Curentul galvano-faradic în serie sau tensiune este cel mai utilizat. Bobina secundară este montată în serie cu sursa galvanică, adică, se uneşte polul + al sursei galvanice cu polul - al bobinei induse şi invers. Curentul va avea în acest caz, o tensiune egală cu suma celor doi curenţi.

Curentul galvano-faradic în opoziţie, are montat polul + al sursei galvanice la polul + al bobinei secundare, polii negativi fiind aceea ce au o utilizare între ei. Tensiunea în acest caz scade.

Consideraţiuni biologice şi aplicaţii în medicină.

Ca şi curentul faradic, produce fenomene motorii, sensitive şi vaso.motorii.

- Fenomene motorii. Are acţiune atît asupra muşchilor striaţi cît şi asupra celor netezi. Secusele musculare produse cu acest curent sînt mai pu-

ternice ca în cazul curentului faradic singur din cauza fenomenului de electrotonus, în special în montarea în serie.

Practic, aceasta se traduce prin contracţii mai energice cînd se supune un muşchi galvano-faradizării, decît numai faradizării, lucru foarte important din p.d.v. terapeutic, căci muşchii netezi care sînt foarte puţini excitabili prin faradizare, par a răspunde perfect la galvano-faradizare. In plus, adăugînd acţiunea efectului chimic al curentului galvanic, se explică rezultatele obţinute cu această superpoziţie de curent şi efectele cu care se dezvoltă muşchii. Se va întrebuinţa deci această metodă în special în tratamentul atoniilor de organe cu fibre netede (vezică, stomac), a miopatiilor şi a unor paralizii.

Trebuie să mai adăugăm că excitarea muşchilor netezi se poate face fie cu catodul, fie cu anodul. Mai energică este însă acţiunea cînd se excită cu polul pozitiv. Deci IP>IN (invers ca la muşchii striaţi.).

- Fenomenele sensitive sînt mai puternice decît în cazul curentului faradic simplu.

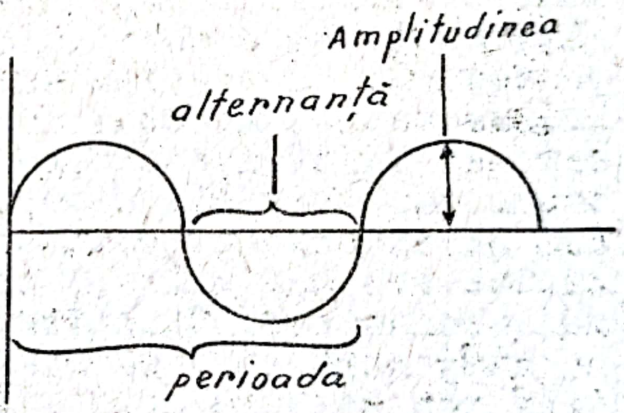
- Fenomene vaso-motorii. Acest curent produce o bună vascularizaţie la nivelul aplicării, fapt care are drept urmare o acţiune net trofică, nutritivă. Deaceea ca aplicare medicală, Bordier observînd că galvanofaradizarea ritmată are o acţiune foarte favorabilă asupra dezvoltării muşchilor, o întrebuinţează în tratamentul paraliziilor şi miopatiilor.

Curentul alternativ

Este curentul care afectează forma unei sinusoide. Din această cauză pe lîngă caracteristicile oricărui curent electric, mai are şi următoarele componente :

- perioada, este timpul necesar pentru efectuarea unei oscilaţii complete, sau, partea curbei ce reprezintă linia sinusoidală cuprinsă între două puncte simetric aşezate;
- semiperioada sau alternanţa, este intervalul cuprins între două treceri consecutive la zero a curbei;
- frecvenţa, este numărul de perioade pe secundă. Ca unitate de măsură este hertzul ce corespunde unei singure variaţii de sens în timp de o secundă;
- amplitudinea este distanţa maximă a curbei faţă de poziţia de zero.

La curentul alternativ şi la toţi curenţii variabili în general, intensitatea şi tensiunea variind tot timpul dela un maxim la un zero, în fiecare moment un astfel de curent va avea o altă tensiune şi intensitate. Deaceea, pentru curentul variabil se socot nişte valori medii numite intensitatea şi tensiunea efectivă.



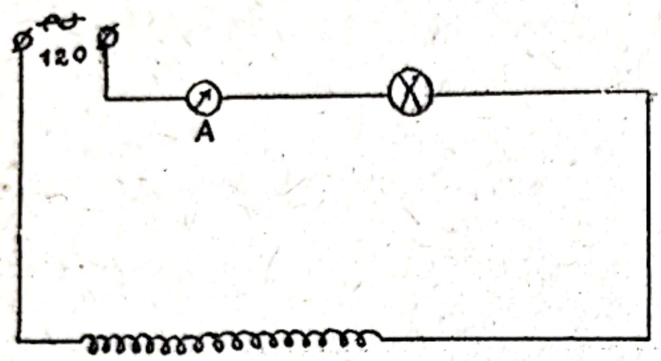
Intensitatea efectivă este intensitatea unui curent continuu care în acelaşi timp şi cu aceeaşi rezistenţă a circuitului, ar degaja acelaşi număr de calorii.

Tensiunea efectivă ca şi intensitatea efectivă se află după următoarele formule :

$$E_{ef} = \frac{E\ max.}{\sqrt{2}} = \frac{E\ max.}{1,41} \; ; \; I_{ef} = \frac{I\ max.}{\sqrt{2}} = \frac{I\ max.}{1,41}$$

Curentul alternativ nu respectă exact legea lui Ohm. Iată cum se probează acest lucru : luăm de exemplu o lampă cu o rezistenţă de 230 ω pe care o legăm în serie cu o bobină cu o rezistenţă de 10 ω deci împreună au : 230+10=240 ω .Legăm circuitul la priza de curent alternativ(120 v).

Lampa se aprinde. Conform legii lui Ohm ar trebui să avem : 120/240 = 0,5 A.Citind însă indicaţiile unui ampermetru, găsim o valoare ceva mai scăzută (de ex.0,42 A). Asta înseamnă că a crescut rezistenţa căci voltajul rămîne acelaşi. Dacă în bobină introducem o vergea de fier moale, lampa se stinge sau îşi micşorează foarte mult intensitatea luminoasă, iar acul ampermetrului ajunge aproape la zero.Deci deşi vergeaua nu are nici o legătură electrică cu circuitul, are drept efect micşorarea enormă a intensităţii.



Acest fenomen este datorit selfinducţiei.Inerţia electrică a circuitelor se împotriveşte oricărei schimbări de curent. Dacă pentru curentul continuu aceste schimbări sînt neglijabile, pentru curentul alternativ care schimbă sensul de cîteva sute de ori pe secundă, se produc schimbări continui ale cîmpului magnetic. Acestea dau naştere la t.e.m. induse care se împotrivesc mereu tensiunii aplicate.Rezultatul împotrivirii este o scădere a curentului ca şi cum ar fi crescut rezistenţa circuitului. Cu cît circuitul are mai multe spire, cu atît scăderea este mai pronunţată. Circuitul care se opune schimbărilor de cîmp magnetic, se numeşte circuit inductiv. Impotrivirea este cu atît mai mare cu cît cîmpul magnetic variabil este mai puternic. Deci circuitele inductive au spire multe înfăşurate pe un spaţiu mic. Factorul care ne arată cît de inductiv este circuitul sau cît de mare este inerţia lui electrică, se numeşte coeficient de selfinducţie (L),inductanţă. Inductanţa se măsoară în Henry. Ea creşte cînd se găseşte în circuit o bobină cu miez de fier, căci fierul măreşte cîmpul magnetic şi deci t.e.m.self-induse vor fi şi mai puternice, slăbind astfel tensiunile aplicate şi aparent mărind rezistenţa circuitului.

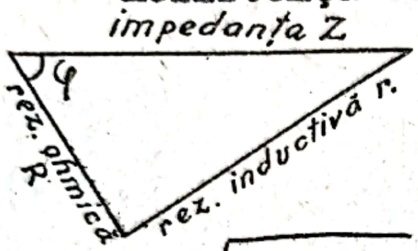
Rezistenţele inductive sînt rezistenţe cu mică rezistenţă ohmică, dar cu o mare inductanţă (de ex. bobinele mai ales cu miez de fier moale). Rezistenţa ohmică este rezistenţa pe care o are circuitul în curent continuu. Filamentul lămpilor cu incandescenţă are aproape numai rezistenţă ohmică.

Deci rezistenţa în curent alternativ este de două feluri :

- activă sau ohmică (R);
- inductivă sau reactanţa (r).

Reactanţa se află din formula : $r = 2\pi v.L$ formula în care v = frecvenţa şi L = inductanţa(raportul dintre fluxul magnetic stabilit în circuit de curentul care trece prin el şi intensitatea acestui curent). Produsul $2\pi v$ numit pulsaţia se notează cu ω.

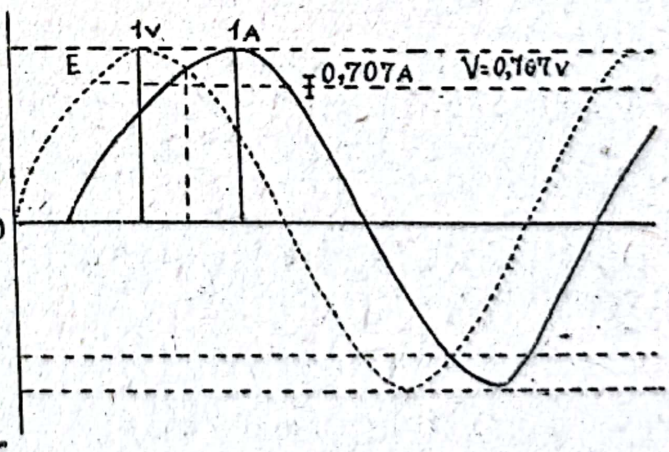
Rezistenţa totală sau impedanţa (Z) se obţine prin însumarea geometrică a celor două rezistenţe. Din triunghiul rezistenţelor reese că suma geometrică a lui R şi r reprezintă latura Z.



Prin calcul reese valoarea lui Z : $Z = \sqrt{R^2 + r^2}$ sau $Z = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}$

Impedanţa se exprimă tot în ohmi.

In cazul curentului alternativ mai avem un fenomen curios în aparenţă şi anume decalajul dintre tensiune şi intensitate. Iată în ce constă acest fenomen : din cauza variaţiei continue a intensităţii, apare tensiune electromotrice dar nu apare curent, Faptul se explică prin aceea că la început cînd t.e.m.începe să crească pornind dela valoarea de zero, curentul ce tinde să apară, întîmpină rezistenţa selfinducţiei, rezistenţă care este mare pînă cînd t.e.m. capătă o valoare mai mare decît selfinducţia. In acest moment curba intensităţii nu poate coincide cu cea a t.e.m., prima apărînd astfel deplasată mai la dreapta faţă de cealaltă. Deci intensitatea curentului este în întîrziere faţă de tensiunea sa electromotrice.



Din acelaşi motiv, la deschiderea circuitului avem fenomenul invers, adică există un moment în care, deşi t.e.m.este nulă, curentul mai circulă

cu o intensitate oarecare deoarece electronii care şi-au luat destul avînt, pot să asigure pentru cîteva momente circulaţia curentului fără să mai fie nevoie de impulsul t.e.m.

Decalajul depinde de selfinducţie, de capacitate şi de frecvenţa curentului. La circuitele ce nu au bobinări (self) şi nici condensatori (capacitate),legea lui Ohm se aplică exact, aceste circuite spunîndu-se că au rezistenţă ohmică (de ex.becul electric). Pentru circuitele ce au self şi capacitate, lucrurile se petrec astfel :

Să presupunem că într-un circuit străbătut de un curent alternativ se află un condensator.Acesta se va încărca şi descărca alternativ, de unde rezultă că deşi se găseşte un dielectric, se produce o trecere continuă de curent electric alternativ. Totuşi prezenţa condensatorului acţionează asupra intensităţii diminuînd-o ca şi cum ar creşte rezistenţa. Această creştere este cu atît mai mare cu cît capacitatea condensatorului şi frecvenţa curentului sînt mai mari. În acelaşi timp cu scăderea, intensitatea nu mai este în fază cu t.e.m. ci este decalată înainte cu atît mai mult, cu cît capacitatea, frecvenţa şi rezistenţa,sînt mai mici. Ea poate fi maximă cînd rezistenţa este neglijabilă, la 1/4 dintr-o perioadă.

Cu cît capacitatea este mai mare, cu atît curentul alternativ trece mai uşor. Deci rezistenţa aparentă opusă de condensator diminuă cu creşterea suprafeţelor armăturilor şi micşorarea grosimii dielectricului întrebuinţat. Această rezistenţă este de 80 ori mai mică pentru corpul uman decît pentru aer.

Rezistenţa aparentă opusă de condensator(capacitanţa) va fi cu atît mai mică cu cît creşte frecvenţa curentului.

$$R_c = \frac{I}{2\pi \nu . c} = \frac{I}{\omega . C} \qquad I = E . \omega . C .$$

Dacă în circuitul străbătut de c.alternativ se găseşte o bobină, am văzut că se produce un cîmp magnetic ce tinde să se opună variaţiilor de curent. Deci o bobină de self va avea într-un circuit străbătut de un c.alternativ, efectul unei rezistenţe suplimentare cu atît mai ridicată cu cît coeficientul de self şi frecvenţa curentului sînt mai mari. Prezenţa selfului produce astfel un decalaj al in-

tensităţii faţă de tensiunea electromomotrice. Decalajul este de sens invers celui produs de condensator; deci aci intensitatea este în urmă faţă de t. e.m. Intîrzierea este cu atît mai mare, cu cît selful şi frecvenţa sînt mai mari, iar rezistenţa mai mică.

Prezenţa simultană în circuit a selfului şi a capacităţii produc un decalaj după valorile respective ale selfului şi capacităţii.

Datorită decalajului dintre t.e.m.şi intensitate mai intervine în formula puterii : P=V.I şi un factor nou numit factorul de putere sau cos de φ. Acest cos de φ are valori cuprinse între 1 şi 0, după unghiul de decalaj care nu poate fi mai mare de 90°, aşa că:

decalaj :	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
cos φ:	1	0,88	0,94	0,86	0,76	0,64	0,50	0,34	0,17	0

Deci pentru curentul variabil, formula completă este : P=V.I cos φ

Pentru curentul continuu cum decalajul este egal cu zero, cos de φ este 1, aşa că-l putem omite.

Pentru curentul alternativ, deoarece are întotdeauna o valoare mai mică de 1, deşi acest cos φ deşi se înmulţeşte, el scade de fapt valoarea puterii.

Consideraţiuni biologice şi aplicaţii în medicină.

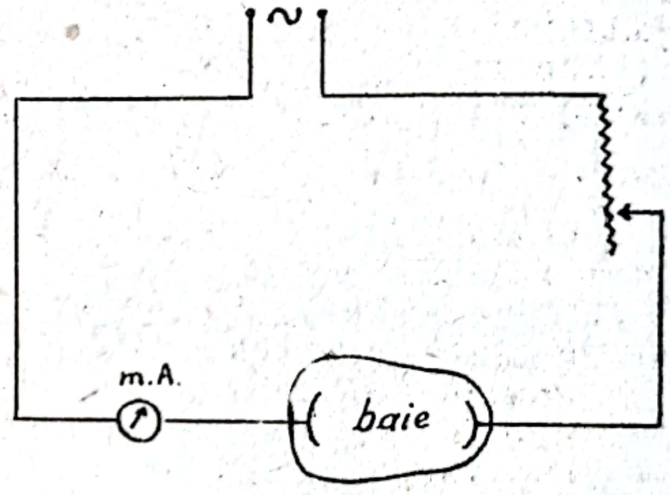
Curentul alternativ are următoarele acţiuni fiziologice :

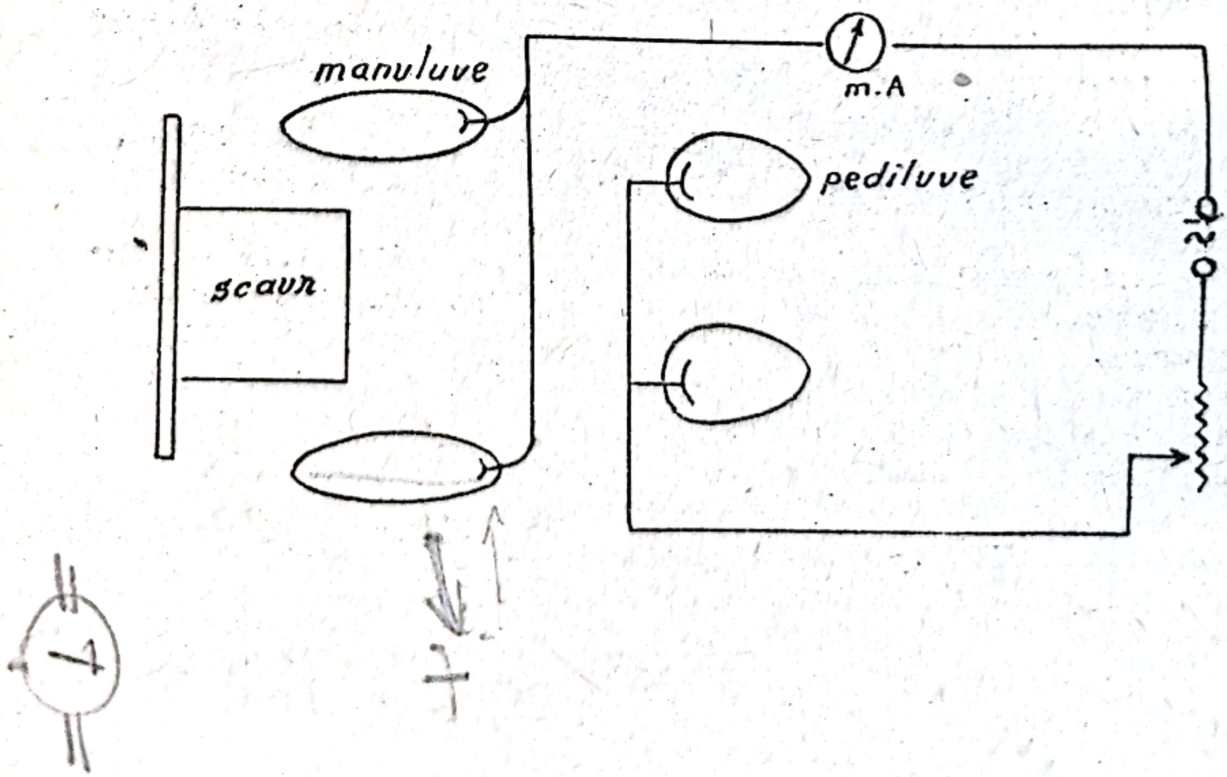
- electrolitice cu atît mai mari, cu cît frecvenţa curentului este mai ridicată, intensitatea rămânînd constantă;
- asupra sensibilităţii acţiunea este minimă, după curba de creştere sau descreştere a intensităţii;
- asupra motricităţii acţiunea este slabă pentru muşchii cu fibre striate. Totuşi ea creşte cu frecvenţa. Intre 30-100 perioade pe secundă, se obţine un tetanos fiziologic perfect. Muşchii cu fibre netede răspund mult mai bine, de unde şi aplicaţiile în terapeutică;
- asupra nutriţiei acţionează prin creşterea schimburilor gazoase respiratorii, hematiile absorbind cu 20% mai mult oxigen. Nutriţia generală

la unii obezi, artritici şi la cei atinşi de fosfaturie, este remarcabil ameliorată. Examenul urinelor confirmă transformarea subiectivă; iar în ce priveşte cauza care produce şi explică fenomenul, este mişcarea şi transportul ionilor din organism;

- local este analgezic şi descongestionant. Creşte căldura degajată.

Acest curent are ca particular, aplicaţiile generale hidroelectrice. In acest caz, bolnavul este aşezat într-o baie emailată (deci izolată)care se umple cu apă la temperatura de 34-35°. In fiecare extremitate a băii se cufundă cîte o placă de cupru nichelată şi care este în legătură cu sursa de curent sinusoidal. Pentru a ridica lent intensitatea curentului ce trece prin baie, se întrebuinţează un rheostat, bolnavul găsindu-se traversat de liniile de flux ce merg dela un electrod la celălalt. Intensitatea poate ajunge pînă la 120-150 mA. Acest procedeu are inconvenientul că prin organism nu trece decît o mică parte din curentul indicat de aparatul de măsură. Deaceea a început să se întrebuinţeze baia cu 4 celule. Ea este mult mai





comodă pentru orice specialist şi în acelaşi timp este mult mai activă. Ea se compune din două manuluve şi două pediluve. Bolnavul aşezat într-un fotoliu, scufundă fiecare antebraţ într-un recipient alungit şi plin cu apă la temperatura 38-40° şi fiecare picior în cîte un bazin umplut cu apă caldă. Deci în total sînt 4 recipiente sau celule. Se unesc cele două manuluve la unul dintre polii surse de curent, iar cele două pediluve, la celălalt pol. Astfel întregul organismul se găseşte traversat de curent. Electrozii cufundaţi în cele 4 celule, sînt lame metalice de cupru nichelat neacoperite, sau mai bine de cărbune de cornute, reţinuţi pe marginile recipientului respectiv, de un mic croşet.

Electroşocul. Cînd un curent alternativ de mare intensitate traversează capul unui animal, provoacă la acesta ameţeală. Cerletti (1937) a arătat că la om se provoacă crize convulsive analoage crizei de apilepsie şi care posedă remarcabile proprietăţi terapeutice în patologia mentală.

Aceşti curenţi pot fi aplicaţi între limitele largi ale intensităţii şi duratei de acţiune, fără să producă accidente mortale. Deşi sînt relativ nevătămători, s-a căutat să se determine relaţiile care unesc între ele mărimile fizice (intensitatea, tensiunea şi durata) care caracterizează curentul ce dă pragul reacţiilor convulsive. Deşi rezultatele nu sînt perfect stabilite, se pot totuşi menţiona rezultatele cercetărilor întreprinse.

In primul rînd se remarcă faptul că rezistenţa circuitului de descărcare ce cuprinde o parte din corpul omenesc, are o rezistenţă extrem de variabilă în funcţie de individ şi de condiţiile experienţei. Chiar dacă această rezistenţă este cunoscută, se ignorează faptul că o fracţiune din curent traversează partea creerului sensibilă la şocul electric. Aceasta este probată de faptul că toate fiind egale, intensitatea minimă care provoacă criza, variază în sens invers cu rezistenţa totală a circuitului cefalic, ceea ce tinde să arate că variaţiile rezistenţei se produc mai ales la nivelul părţilor moi periferice aşezate în derivaţie pe circuitul cerebral.

S-a crezut că se poate prevedea intensitatea utilă a curentului măsurînd rezistenţa capului la

o tensiune slabă, adică fără să căpătăm efect asupra sensibilităţii. Ori s-a văzut că rezistenţa ţesuturilor vii, variază foarte mult cu diferenţa de potenţial aplicată.

Cerletti şi Bini au conchis după numeroase experienţe efectuate pe broască, că timpul de trecere a curentului trebuie să varieze în sens invers cu tensiunea pentru a obţine acelaşi efect. Apoi Lapique şi Rondepierre, au constatat că atunci cînd se menţine constantă durata de trecere, energia electrică consumată este întotdeauna aceeaşi pentru acelaşi individ şi că atunci cînd timpul de aplicaţie creşte, trebuie, după aceşti autori, să creştem energia electrică după o progresie care nu variază decît între limite foarte mici pentru indivizi diferiţi.

Oricare ar fi validitatea acestor relaţii, notăm că nu se poate determina dinainte doza minimă care să dea un şoc suficient. Trebuie să procedăm prin tatonare, bazîndu-ne pe experienţa după care, criza convulsivă se obţine în general cu valori de 15-60 jouli, pentru aplicaţii de cîteva zecimi de secundă. Practic tensiunea se modifică treptat de la 0 la 150 v, iar durata şocului poate varia şi ea treptat dela 0,1 la 0,5 secunde în trepte de cîte 0,1 sec. Se aplică doi electrozi temporari. Ca sursă se utilizează un curent alternativ cu 50 perioade prin intermediul unui transformator ce are avantajul de a ridica tensiunea şi de a fi un element de securitate pentru pacient. Gradarea electroşocului se face fie prin varieri de tensiune (potenţiometric), fie modificînd durata de acţiune a curentului, în care caz este preferabil de a întrebuinţa un mecanism automat care să dea timpi scurţi de trecere cu o lungime bine determinată.

Criza tipică ce se caută să se obţină, cuprinde :

- o fază tonică ce durează 5-15";
- o fază clonică de 25-50";
- o fază stertoroasă ce se poate prelungi timp de unul pînă la două minute.

Criza este precedată cîteodată de o perioadă latentă de 10-30", a cărei durată diminuă cu energia pusă în joc, putînd deveni de neapreciat.

Cînd şocul a fost insuficient pentru a produce criza (convulsiile), survine adesea o pierdere a

cunoştinţei, analoagă "absenţelor" epilepticilor, dar care nu pare a poseda aceleaşi efecte terapeutice ca şi criza completă.

Electroşocul posedă asupra altor metode de a provoca convulsii, avantagiul de a antrena mult mai rar fracturi; în afară de aceasta, acolo unde criza nu apare, repetiţia lui este mult mai bine acceptată de bolnav.

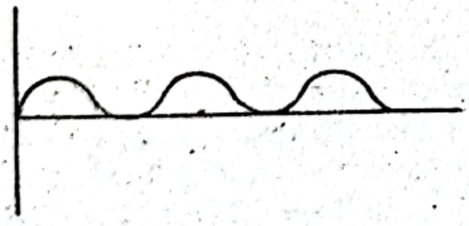
Cele mai bune rezultate cu acest mijloc de tratament sînt observate în toate formele de melancolie. Urmează apoi confuzia mentală şi mania şi apoi psihozele de involuţie.

Electronarcoza. Este ca şi precedenta. Curentul este reglat timp de 3 secunde dela 0-250 mA. Se evită astfel contracţiile musculare. Procedeul este indicat în schizofrenie.

Se poate produce electrosomnul cu ajutorul impulsurilor realizate ca şi pentru electroşoc şi narcoză, cu dispozitive cu tuburi electronice. Frecvenţa impulsurilor este mică şi intensitatea curentului întrebuinţat este de ordinul microamperilor.

Curentul ondulator

Este numit astfel pentru că este un curent periodic a cărei formă afectează forma sinusoidală, dar care nu-şi schimbă sensul. Nu este deci un curent alternativ, iar intensitatea variază dela zero la o aceeaşi valoare fie pozitivă, fie negativă.

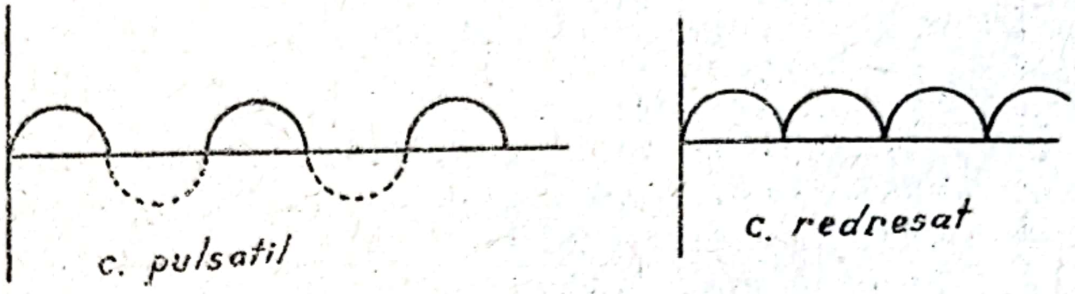


Grafic, acest curent se înscrie după curba de mai sus.

In ce privesc acţiunile sale fiziologice, se constată că pe lîngă efectul chimic al curentului continuu, are şi efectele caracteristice curentului sinusoidal. Prezintă şi o evidentă acţiune analgezică la polul pozitiv.

Curentul pulsatil şi redresat

Sînt curenţi alternativi a căror una din faze este complet oprită (curentul pulsatil) sau inversată, adică transformată în undă pozitivă (curentul redresat).



Aceşti curenţi se capătă din curentul alternativ propriu zis, care este trecut prin nişte dispozitive speciale numite redresori.

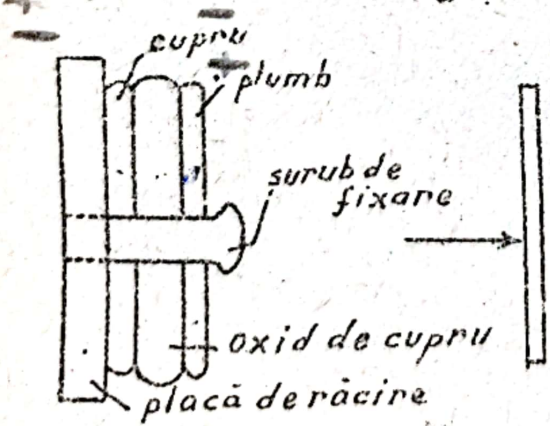
In mare, deosebim următoarele grupe de redresori :

- redresorii metalici;
- redresorii electronici (lămpile electronice);
- redresorii ionici (lămpile cu vapori de Hg);
- redresorii electrolitici;
- grupurile convertizoare.

Redresorii metalici

Sînt mijlocul cel mai simplu. Ei au un enorm avantaj şi anume o durabilitate nelimitată. Dintre acesti redresori cei mai cunoscuţi sînt redresorii cuproxid şi redresorii cu seleniu.

Redresorii cuproxid sînt formaţi din discuri de cupru care se oxidează pe una din feţe. Peste faţa oxidată se aplică rondele de plumb groase de 0,5 mm şi care asigură prin maleabilitatea lor, un contact perfect între celule, astfel că ordinea este : cupru-oxid de cupru-plumb. Intensitatea pe care o poate da fiecare celulă (element) este de aproximativ 0,10 Amp/cm^2, cu un maxim de 0,40 Amp./cm^2. Tensiunea pe care o suportă, este de cca.4 v.de placă. Deci în funcţie de voltaj se vor monta în serie n elemente. n = v/4



Temperatura de lucru maximă este de 40°C şi au

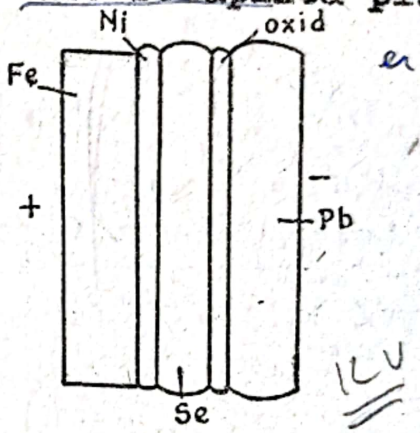
randamentul maxim de 50%.

Celulele pot fi montate în paralel pentru o intensitate mai mare, sau în serie, pentru un voltaj mai ridicat.

Electronii trec dela cupru la oxid, astfel că tehnic curentul va circula dela oxid la cupru, cuprul constituind polul + iar oxidul cel -.

Conductibilitatea contactului oxid de cupru-plumb, este de 1000 de ori mai mare într-un sens decît în celălalt.

Redresorii cu plăci de seleniu sînt formaţi din plăci de fier nichelat pe care se aplică plăci de seleniu oxidate pe faţa externă (seleniu se oxidează prin simpla încălzire cînd se acoperă cu un strat de cca.1/1000 mm de oxid). Partea oxidată a selenului se stropeşte cu un metal topit şi anume din acelea care au un punct de fuziune foarte coborît (plumbul,cositorul).



Fiecare celulă suportă o tensiune de 12 v. de placă.Deci n = v/12.

Au un randament mai mare, greutate mai mică, un curent invers mai mic; în schimb sînt mai scumpi decît precedenţii.

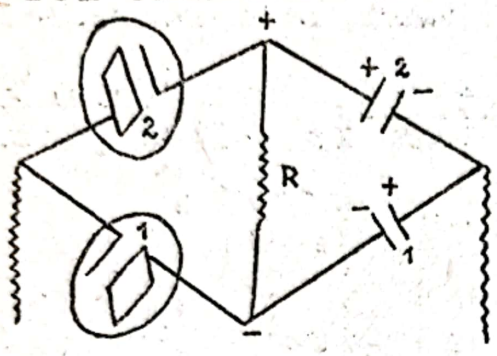
Curentul trece numai în cazul cînd placa de metal este negativă şi cea de fier este pozitivă.

Explicarea fenomenului de redresare prin redresorii metalici, ar fi următoarea : stratul de oxid este izolant el nelăsînd să treacă electronii decît dacă se strîng mai mulţi la un loc şi dacă sînt supuşi unei tensiuni mari. Ori acest lucru se întîmplă pe placa de metal care are destui electroni liberi îndesaţi pe vîrfurile ascuţite ce pătrund în oxid (stratul de metal pătrunde cu nişte dinţişori în oxid). Ingrămădirea electronilor pe spaţii mici dă tensiuni mari,deci curentul circulă dela metal la seleniu. Curentul nu poate circula în sens invers, deoarece seleniul este semiconductor, avînd electroni liberi puţini şi fiindcă suprafaţa seleniului este voit netedă, neîngăduind astfel formarea unor tensiuni locale puternice care să peimită trecerea curentului.

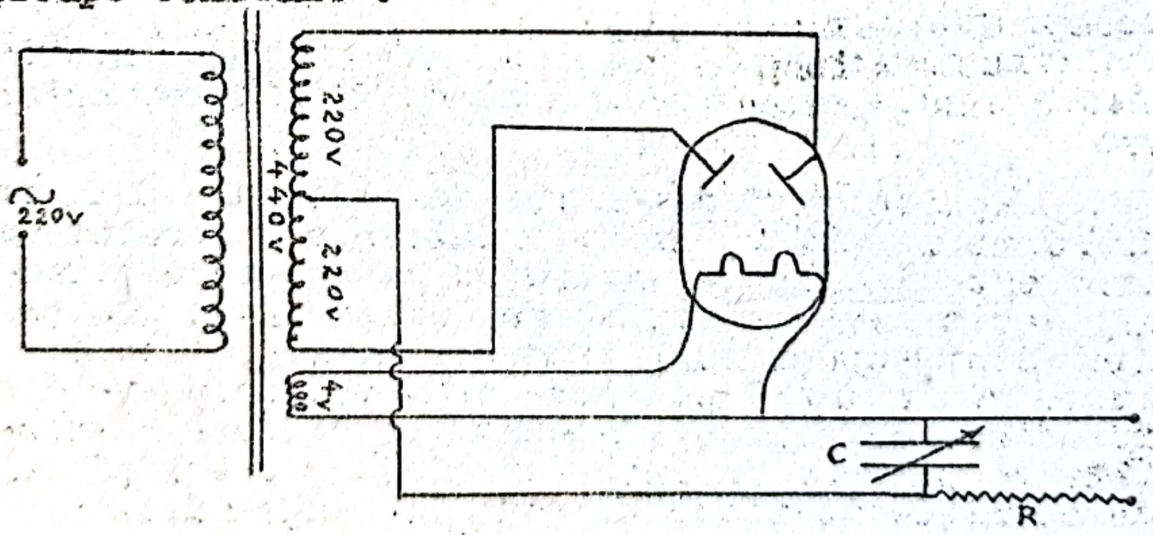
Redresorii electronici

Se utilizează lămpile diode. Trebuie să semnalăm faptul că într-o astfel de lampă în care este pe cît posibil vid, curentul circulă dela filament care este încărcat negativ, spre placă care este încărcată pozitiv.

Odată cu redresarea se poate obţine şi dublarea tensiunii astfel : alternanţa (1) trece prin dioda 1 şi condensatorul 1 pe care-l încarcă cu polaritatea arătată. Alternanţa (2) trece prin lampa 2 şi condensatorul 2 pe care-l încarcă. Astfel cei doi condensatori, montaţi în paralel faţă de reţea, se încarcă succesiv, dar faţă de rezistenţa de utilizare (R), sînt montaţi în serie. Cum fiecare condensator este încărcat la tensiunea reţelei, prin descărcarea lor în serie rezultă dublarea tensiunii.



Dacă se utilizează o sursă de curent alternativ de 220 v, un transformator de curent care să dubleze tensiunea plus 4 v:pentru încălzirea filamentului, cu lampa din fig.de mai jos care are două plăci şi un filament, se obţine un curent aproape constant :

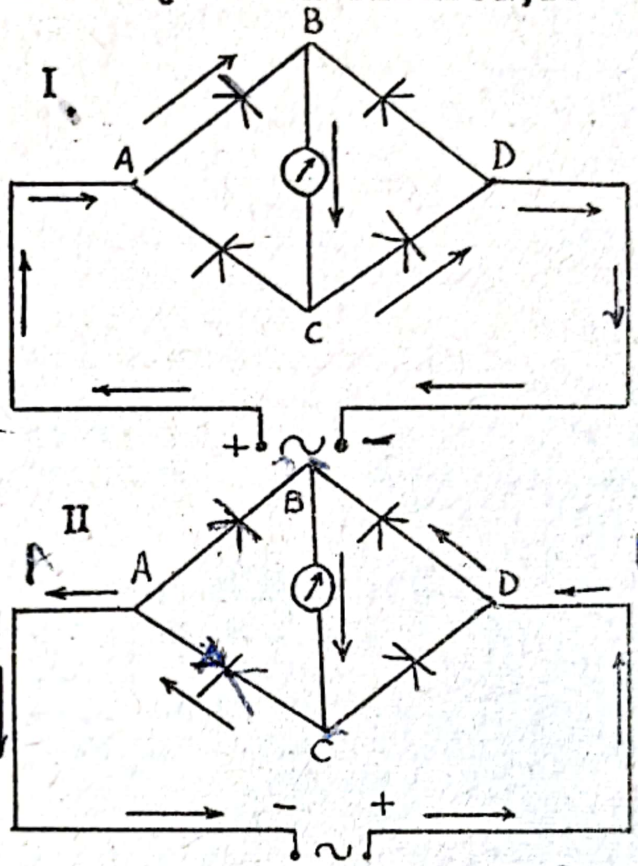


Atît redresorii metalici cît şi cei electronici, oprind una din fazele curentului alternativ, vor da un curent pulsatil. Acest curent are dezavantajul că pentru folosul practic se pierde jumătate din energia electrică. Pentru a folosi şi cealaltă alternanţă se foloseşte montajul cunoscut sub

numele de puntea lui Graetz.

Iată cum se face montarea în acest caz:

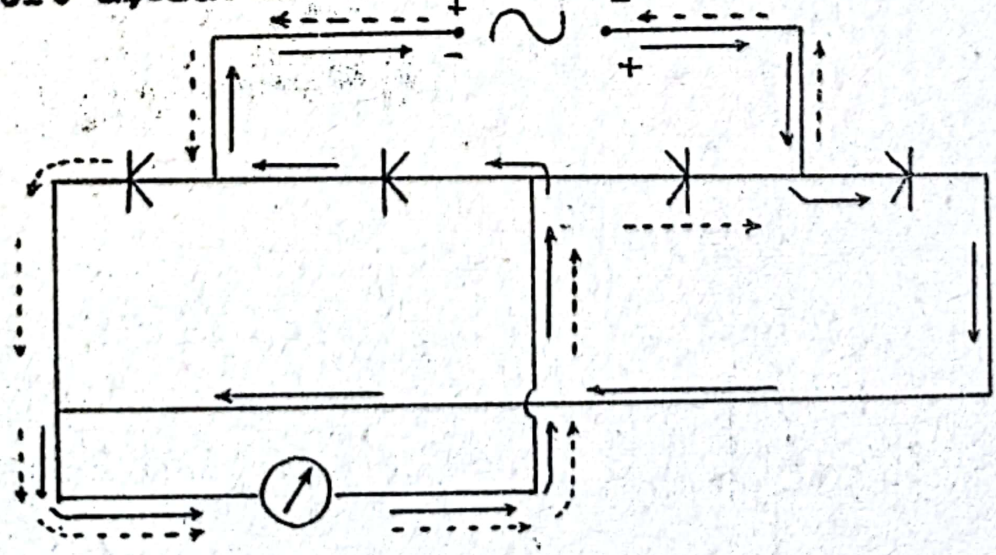
Să presupunem că prima alternanţă (I) este astfel încît curentul circulă conform schemei, în direcţia indicată. Curentul ajuns la bifurcaţie (A) nu poate s-o ia decît pe bifurcaţia superioară (AB) căci acesta este sensul pe care-l permite redresorul. Odată ajuns în (B), curentul trece prin punte în jos (dela B la C) şi de aci prin redresor, în punctul D, de unde ajunge la polul negativ al sursei.



Cînd curentul îşi schimbă sensul, el nu găseşte liberă decît celula de pe braţul DB. De aci o ia tot în jos prin punte şi iese afară prin celula din braţul inferior (CA).

Deci, deşi curentul îşi schimbă sensul, în punte, adică acolo unde vrem să avem curent redresat, acesta circulă întotdeauna într-un singur sens.

Redresarea se poate face şi pe un singur suport aşezat liniar astfel :



Redresorii ionici

In anul 1903 americanul Cooper-Hewitt (după unii ar fi romîn din Transilvania) a inventat prima lampă redresoare - lampa cu vapori de mercur. El a observat că aburii metalici de mercur ajută trecerea electronilor dela - la +, deci lăsînd să circule curentul într-un singur sens.

Grupul convertizor

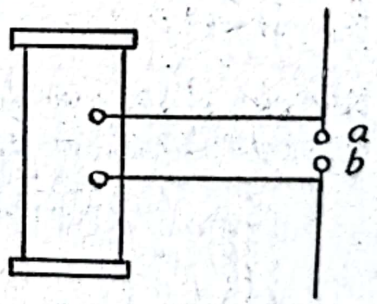
Este folosit pentru tensiuni joase şi pentru intensităţi mari de curent.

Redresarea se face printr-un grup motor-generator, numit grup convertizor. Un astfel de grup este format dintr-un electromotor de curent alternativ cuplat cu un dinam. Electromotorul este alimentat de reţeaua de curent alternativ şi roteşte indusul dinamului. Dinamul produce astfel un curent continuu.

Curentul oscilant

Se poate obţine prin descărcări de condensatori sau cu ajutorul lămpilor electronice. In realitate el este un curent alternativ de înaltă frecvenţă, numit astfel şi curent de înaltă frecvenţă.

Cu ajutorul condensatorilor, un astfel de curent se poate obţine astfel: dela o bobină de inducţie vine un curent de inducţie ce încarcă incontinuu condensatorii ce pot fi reprezentaţi prin două bule (a şi b). Denivelarea de potenţial dintre ele crescînd mereu, se învinge rezistenţa micului strat de aer şi se va produce o scînteie ce este formată din electronii ce străbat dela a la b.



Descărcarea poate dura 1/40.000 dintr-o secundă, iar numărul de descărcări pe secundă va fi mai mic de 100, aşa că între două descărcări este un spaţiu de timp mare relativ la timpul necesar unei singure descărcări. Feddersen (1861) cu ajutorul oglinzii învîrtitoare a arătat că însăşi imaginea unei scîntei nu este continuă, ci apare sub forma unei succesiuni de benzi alternativ luminoase şi întunecate, fapt care ne pro-

beazã cã scînteia este un fenomen periodic ce este compusã la rîndul ei din mai multe descãrcãri.

Fenomenul de descãrcare oscilantã se explicã astfel : electronii sînt trecuţi de pe o bulã pe alta aproape cu aceeaşi vitezã cu care au plecat, datoritã selfinducţiei. De aci ei sînt trimeşi înapoi şi jocul se repetã pînã cînd oscilaţia înceteazã datoritã amortizãrii descãrcãrii produsã de rezistenţa conductorilor şi a aerului (deci datoritã producerii de cãldurã).

Frecvenţa acestor descãrcãri şi deci şi a curentului oscilant, este în funcţie de capacitate şi de selfinducţie. Condensatorii mari puşi în locul plãcilor a şi b vor da oscilaţii mai încete, în timp ce acei cu capacitãţi mici, vor da oscilaţii mult mai repezi. Tot aşa, prin creşterea selfinducţiei, adicã prin intercalarea de bobine, oscilaţiile sînt mai încete.

Sînt socotite oscilaţii încete acelea ce au o frecvenţã de 200.000-500.000 perioade pe secundã, iar repezi cele cu o frecvenţã dela 10.000.000 perioade în sus.

Dacã rezistenţa de descãrcare este prea mare, nu se obţin descãrcãri oscilante (curent de înaltã frecvenţã) ci continui. Pentru a avea descãrcãri oscilante trebuie ca rezistenţa limitã (R) sã aibã urmãtoarea valoare :

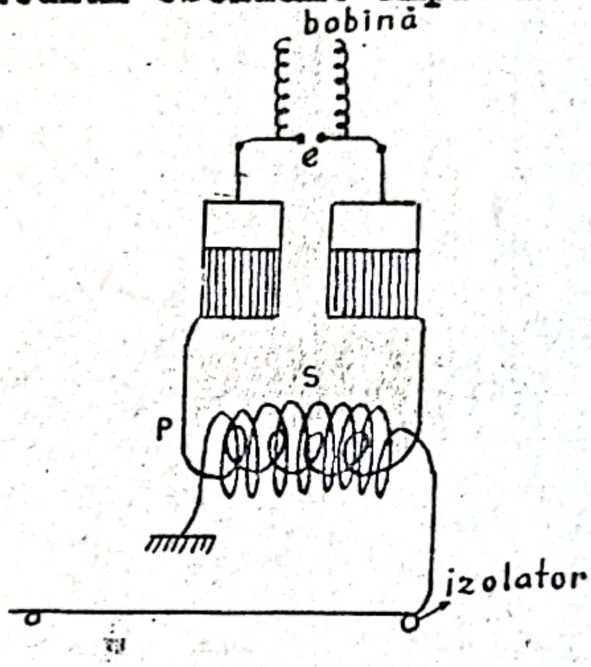
$$R < \sqrt{4\ L/C}$$

L =selfinducţia; C = capacitatea.

Curentul de înaltã frecvenţã se comportã într-un circuit într-un mod cu totul diferit de cel care ne-a învãţat pînã acuma ceilalţi curenţi (continuu şi variabil de micã frecvenţã). Curentul de înaltã frecvenţã are urmãtoarele proprietãţi :

1) o frecvenţã foarte mare;
2) o lungime de undã micã;
3) produce fenomene de inducţie, selfinducţie şi rezonanţã extrem de puternice, fenomene care dau acestor curenţi o importanţã particularã. Astfel dacã în apropierea unui circuit în care nasc oscilaţii amortizate aducem un alt circuit, în acesta din urmã se vor produce prin inducţie, oscilaţii cu aceeaşi perioadã la fiecare tren de oscilaţii din circuitul oscilant. Circuitul oscilant va fi primar, iar circuitul indus va fi circuit secundar. Tesla a obţinut inducţii puternice dacã

în jurul selfului din circuitul primar, înfăşura o bobină cu spire mult mai multe. Circuitul secundar are capetele libere, unul izolat, altul legat cu pămîntul. Selful circuitului oscilant împreună cu bobina indusă secundară, formează transformatorul lui Tesla.

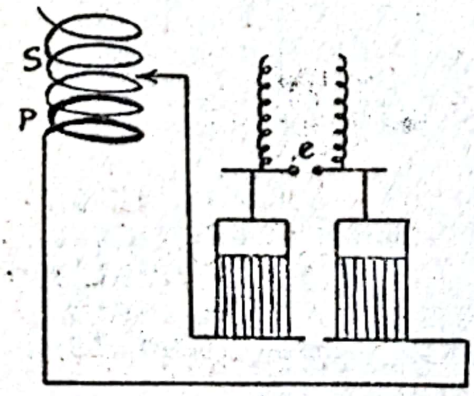


Circuitul oscilant ce primeşte energie dela o bobină de inducţie, este format din două butelii de Leyda a căror armături interne se termină cu două mici sfere depărtate între ele pentru a da o distanţă explozivă (e) şi care prin două fire conduc la polii bobinei de inducţie. Armăturile exterioare izolate cu parafină sînt legate între ele printr-un fir gros de cupru învîrtit spre a forma solenoidul primar P.

Circuitul indus este format dintr-un fir de cupru lung şi subţire, introdus deasupra solenoidului primar şi care formează solenoidul secundar S. Acesta are capetele, unul în legătură cu pămîntul, iar celălalt este întins pe izolatori.

In circuitul secundar nasc curenţi de înaltă frecvenţă cu aceeaşi frecvenţă ca şi cea a curenţilor din circuitul oscilant, dar în schimb cu o foarte înaltă tensiune din cauza numărului mare de spire.

Alt aparat este dispozitivul lui Oudin, care diferă de precedentul prin aceea că secundarul şi cu primarul fac un singur solenoid autotransformator, cu un contact mobil pentru secundar. Pe secundarul(S) putem lua spire mai multe sau mai puţine, pînă cînd se constată că din capătul secundarului prevăzut cu ace metalice ascuţite, ies lungi jerbe luminoase .Aci tensiunea ridicată se capătă

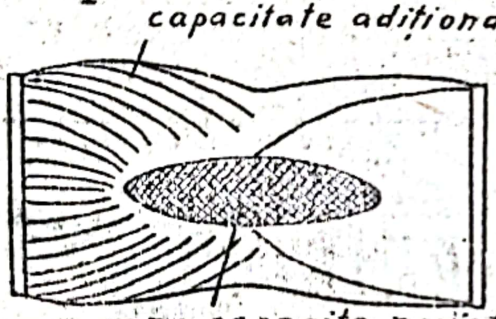


din cauză că secundarul are mai multe spire decît primarul, dar şi din cauză că variind cursorul, ajungem ca perioada propie a secundarului, să fie în rezonanţă cu primarul, adică dacă ar oscila singur, ar avea curenţi cu aceeaşi frecvenţă ca şi cei din primari.

In electricitate fenomenul de rezonanţă se capătă ori de cîte ori două circuite vecine au aceiaşi capacitate şi selfinducţie.

4) Produce puternice fenomene de capacitate de o importanţă deosebită.

Dacă se introduce orice corp fizic sau biologic într-un cîmp de înaltă frecvenţă care are la capete doi electrozi în formă de plăci (condensator), acest corp va avea o constantă dielectrică superioară celui a aerului ($\varepsilon = 1$) şi va creşte astfel capacitatea condensatorului şi diminuă capacitanţa sa. In felul acesta creşte intensitatea curentului. Deci corpul fizic sau biologic introdus într-un cîmp electric alternativ, va uşura trecerea curentului şi va concentra liniile de forţă.



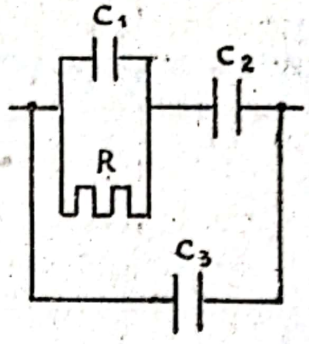
- Dacă corpul interpus este rău conducător (cauciuc, sticlă), curentul va trece prin el ca un curent dewatat. Obiectul nu se încălzeşte, sau se încălzeşte foarte puţin.

- Dacă e un conductor imperfect (electrolit) aşa cum e cazul obiectelor biologice, o parte de curent va fi dewatată, în timp ce restul va trece prin convecţie şi deoarece rezistenţa ohmică este destul de mare, conductorul se va încălzi destul de puternic.

- Dacă se aşează un conductor metalic, acesta va concentra în el un număr mare de linii de forţă. Constanta lui dielectrică infinită îi dă o capacitate mare şi o rezistenţă minimă. Tot cîmpul curge sub formă de curent de convecţie prin metal ce devine un adevărat "canal" săpat în dielectricul rezistent (aer). Corpul însă nu se va încălzi, căci încălzirea este în funcţie de rezistenţa ohmică, ori rezistenţa ohmică este foarte mică. Dar această concentrare enormă de linii de forţă face ca

acest corp metalic să fie periculos pentru orice corp aşezat în vecinătate.

Un corp aşezat într-un cîmp electric introduce o capacitate şi o rezistenţă (C_1R). Aerul ce separă armăturile constituie capacitatea intermediară(C_2)iar aerul ce separă armăturile pe laturile corpului formează o capacitate adiţională (C_3).



5) Circulă prin conductorii metalici mai greu decît celelalte forme de curent.

6) Circulă prin conductorii metalici cu atît mai la periferia lor, cu cît frecvenţa curentului este mai mare. Acest fenomen poartă numele de efect corona şi el se explică prin aceea că rezistenţa unui conductor creşte cu frecvenţa curentului ce-l parcurge căci regiunea centrală a conductorului este sediul curenţilor lui Foucault ce corespund la o transformare a energiei electrice în căldură. Acest fenomen deja sensibil la frecvenţele industriale pentru conductorii groşi, devine foarte important pentru înalta frecvenţă, fapt care face ca acest curent să circule astfel numai în stratul exterior al conductorului.

7) Se poate ca intensitatea acestui curent să nu fie acelaşi în tot lungul circuitului.

8) Străbate soluţiile electrolite în toată grosimea lor, producînd un efect puternic.

9) Are efecte calorice foarte marcate.

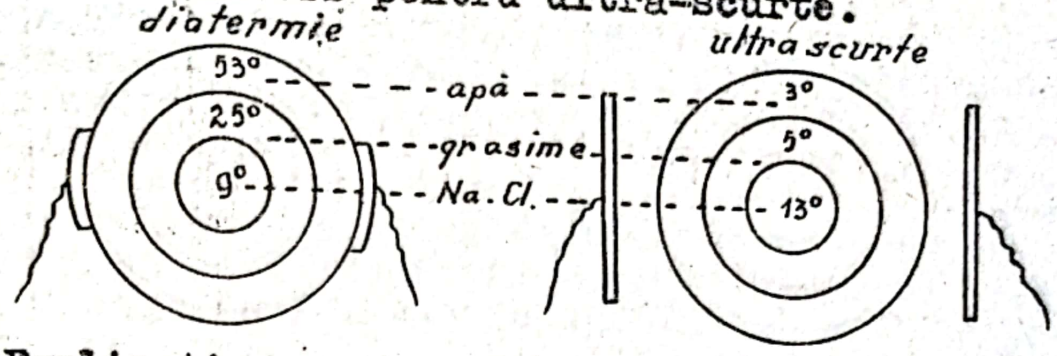
Efectul caloric este diferit în funcţie de frecvenţa curentului de înaltă frecvenţă. Presupunem 3 vase cilindrice ce se introduc unul într-altul. Sau umplem vasul interior cu soluţie NaCl 1‰, cel mediu cu grăsime şi cel extern cu apă.

Se supune un rînd de vase la un curent de diatermie (frecvenţa cca.1.000.000 şi λ =300 m)şi alt rînd la un curent de ultra-scurte (frecvenţa cca. 20.000.000 şi λ =15 m.). Măsurînd temperaturile,se constată :

-că în ansamblu este o creştere de temperatură mai mare pentru curentul diatermic (87^0 faţă de 21^0)

-curentul diatermic se transformă în căldură mai ales în vasul cu apă care este cel mai rezistent şi cel mai puţin în vasul cu sol.de NaCl.

Efectul este invers pentru ultra-scurte.



Explicaţia acestor fapte este următoarea :pentru ca un curent de I.F. să încălzească un conductor, nu este destul să-l traverseze, ci să fie absorbit de acesta pentru a se transforma în căldură. Ori la frecvenţa de diatermie, curentul urmează încă legea lui Joule. Odată ce frecvenţa devine de 100 de ori mai mare, energia trece prin apă şi grăsime mai ales sub formă de curent de deplasare.Astfel energia trece fără să se cheltuiască prin straturile mai rezistente. Numai la electrolitul central se va transforma în curent de convecţie, degajînd căldură.

De aci rezultă un fapt practic : se poate regla producerea de căldură în ţesuturi în funcţie de frecvenţa curentului şi că pentru frecvenţe mari nu este nevoie să se aplice electrozii direct pe tegumente.

Pentru curenţii de I.F. efectul caloric este în funcţie şi de concentraţia soluţiei. Cu cît soluţia e mai diluată, cu atît creşte rezistenţa electrică şi încălzirea. Dar dela o anumită limită a diluţiei, încălzirea nu mai progresează. De ex.pentru o sol. NaCl cu R=10 ω ,temperatura urcă cu cca. 2^0, pentru R=1500 ω urcă cu 96^0, dar pentru o sol. mai diluată, R=30.000 ω ,încălzirea scade la 3^0.

Pentru curenţii diatermici, concentraţiile saline pentru care pare valabilă legea lui Joule,sînt identice cu acelea ale lichidelor organice (sînge, urină) : 7‰. Pentru curenţii de ultra-scurte,legea lui Joule devine inaplicabilă dela concentraţii mai mari : încălzirea cea mai puternică corespunde concentraţiei lichidelor organice.

Cum se explică faptul că încălzirea electroliţilor nu se supune legii lui Joule? O soluţie electrolită este formată din două părţi : apa (un dielectric perfect de rezistenţă infinită) şi ionii ce conduc bine curentul electric. O parte din curentul

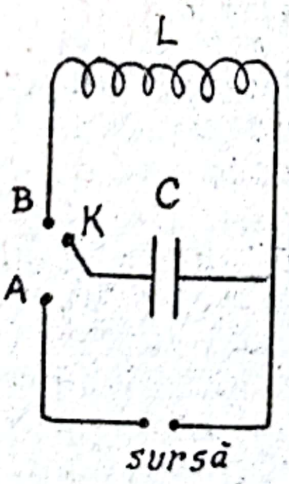
de I.F.trece ca curent de deplasare dewatat prin dielectric fără să se degaje căldură şi o parte e transportată de ioni sub formă de curent de convecţie ce produce căldură. Incălzirea depinde de partea pe care o iau cei doi curenţi. Deci sol.electrolite se pot asimila cu un condensator schuntat de o rezistenţă ohmică.

Pentru o concentraţie dată, dacă frecvenţa creşte,creşte în importanţă curentul de deplasare şi cantitatea de căldură diminuă. Incălzirea creşte pentru frecvenţele joase şi devine maximă pentru frecvenţa 0 (curentul continuu).

10) Produce în spaţiul înconjurător oscilaţii electromagnetice cu mare lungime de undă, numite unde herţiene.

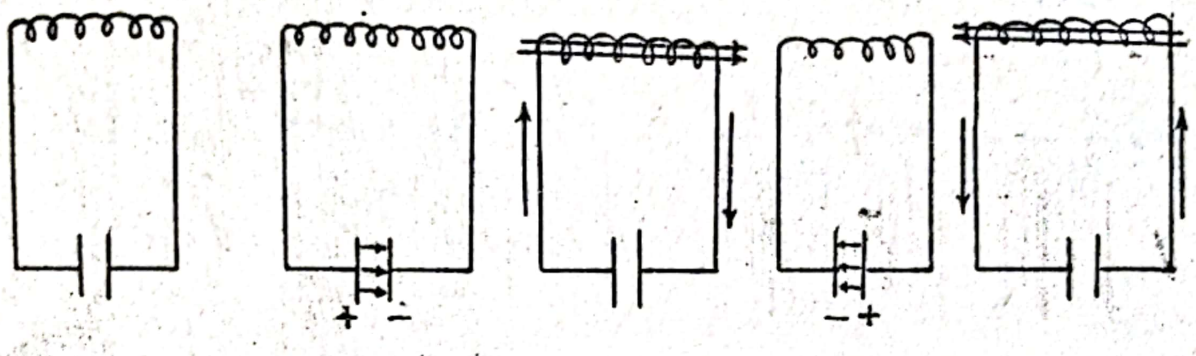
Pentru a obţine curenţi de I.F.,este nevoie de un circuit format dintr-un generator de curent (bobină, etc)şi un circuit oscilant ce cuprinde un condensator (capacitate) legat în serie cu o bobină (self).

Presupunînd că am încărcat condensatorul (C) aducînd cheia (K) pe contactul (A),condensatorul va înmagaziona energie electrică iar între plăcile lui se produce un cîmp electric. Inchizînd apoi circuitul de descărcare aducînd cheia (K) în (B), condensatorul începe să se descarce.Datorită selfinducţiei, curentul de descărcare nu atinge dela început valoarea maximă.Curentul de descărcare este însoţit de apariţia unui cîmp magnetic în bobină care creşte din ce în ce pe măsură ce se micşorează diferenţa de potenţial dintre plăcile condensatorului. La un moment dat condensatorul se descarcă complet iar cîmpul magnetic al curentului a atins valoarea maximă în bobină. Deci energia cîmpului electric se transformă în energie a cîmpului magnetic.



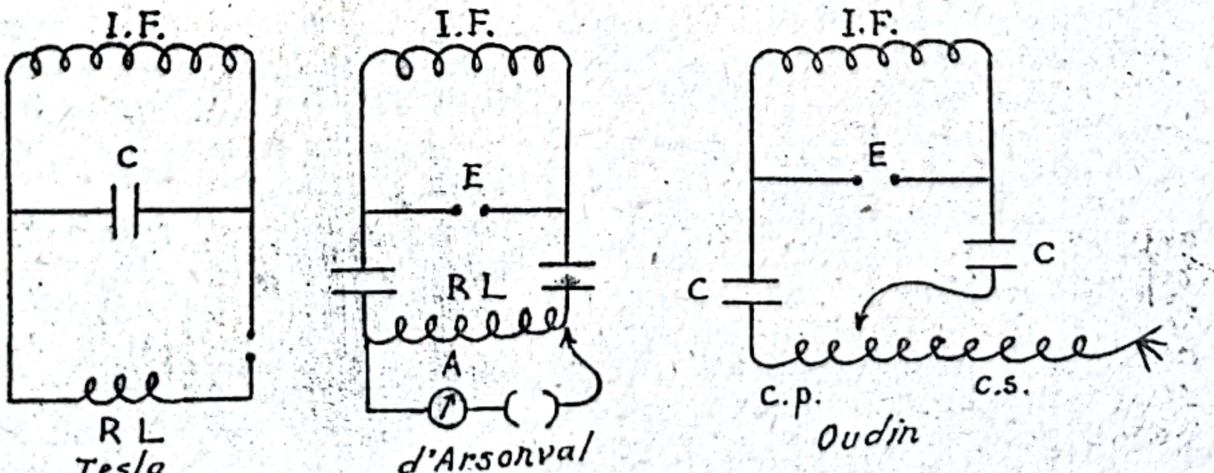
Incepe apoi dispariţia cîmpului magnetic.Conform legii lui Faraday, variaţia cîmpului magnetic produce o t.e.m. de inducţie a cărui sens ştim că este astfel încît se opune dispariţiei cîmpului. Electronii vor continua să treacă dela o placă la alta a condensatorului(însă în sens invers ca prima dată) deşi condensatorul este descărcat.Această tre-

cere de electroni se face pînă cînd dispare cîmpul magnetic al bobinei. Astfel condensatorul va fi încărcat din nou. Deci de astădată se produce fenomenul invers : energia cîmpului magnetic se transformă în energie a cîmpului electric.

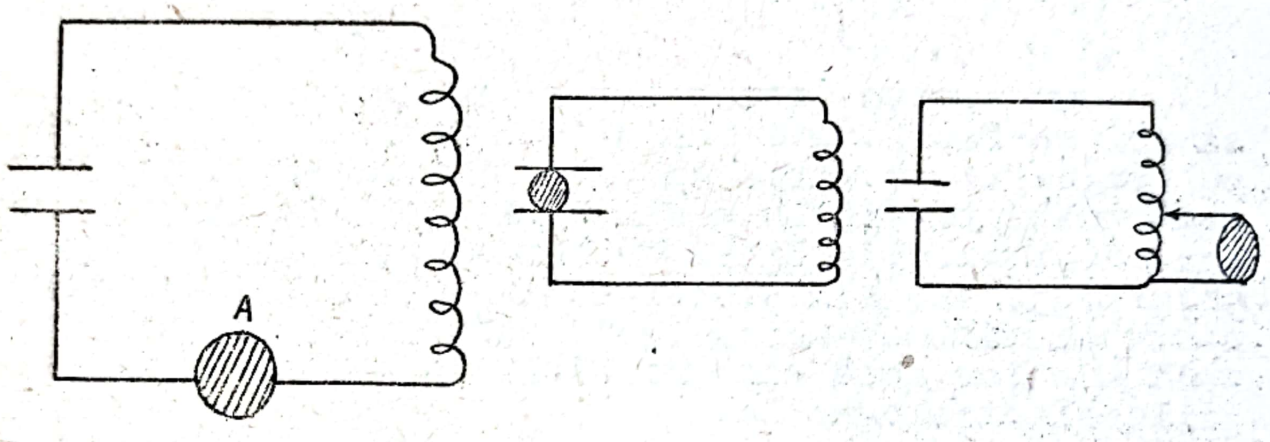


Cum aceste descărcări şi încărcări de condensatori se fac foarte rapid (curenţi de I.F.) şi cîmpul magnetic va varia cu aceeaşi frecvenţă. Deci vectorul intensitate a cîmpului electric (în cîmpul condensatorului) cît şi vectorul intensitate a cîmpului magnetic (în cîmpul bobinei), variază alternativ ca mărime, adică oscilează. Oscilaţia simultană a celor două cîmpuri alcătuieşte tocmai oscilaţiile electromagnetice.

Cuplarea şi acordul a două circuite. Montajul lui Tesla prezintă din p.d.v. medical un mare dezavantagiu şi anume: dacă este interpus vreun subiect între bulele eclatorului, acesta este legat direct la sursa de înaltă tensiune, putîndu-se astfel căpăta accidente periculoase şi chiar mortale dacă condensatorul este clacat. Deaceea în scop medical s-a imaginat un alt dispozitiv de produs curenţi de I.F. şi anume dispozitivul lui D'Arsonval în care individul este întotdeauna separat de sursa de curent printr-un condensator.



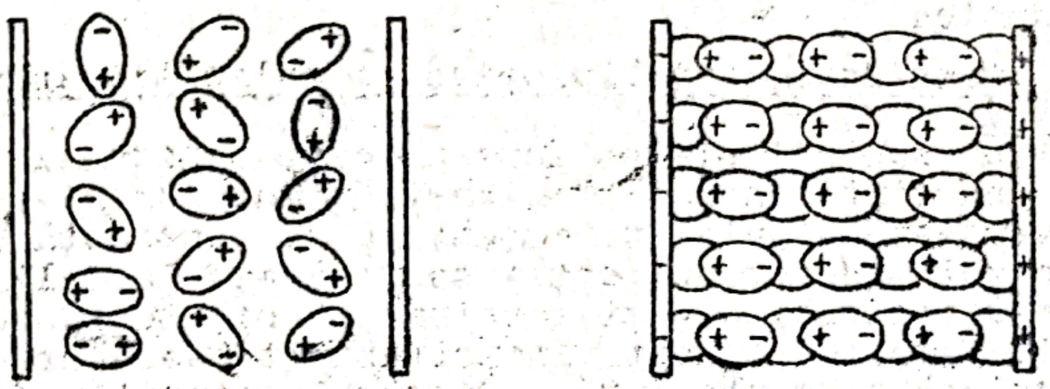
Dacă avem un circuit oscilant, îl putem utiliza în diverse feluri. Un corp oarecare A (animal, cuvă cu electrolit, etc.) pe care-l vroim să fie traversat de curentul de I.F., îl putem plasa direct în circuit sau între armăturile condensatorului cînd constituie astfel dielectricul, sau cel mai adesea, într-un circuit luat în derivaţie pe bobina de self, fapt care permite variaţia intensităţii prin varierea numărului de spire cuprinse între bornele derivaţiei.



In afară de aceste trei feluri de montări, cuplarea se mai poate face şi astfel : cînd nu vrem să modificăm constantele circuitului oscilant prin introducerea corpului A, vom apropia de acest circuit un altul ce conţine corpul A şi în care vor avea loc fenomene pur inductive (montajul Tesla) sau cele două circuite au un singur punct comun (montajul Oudin).

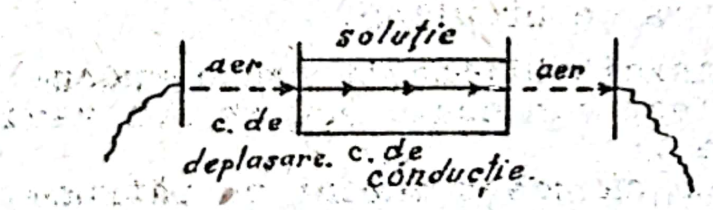
Curent alternativ, contrar celui continuu, nu este oprit de condensator. Ce se întîmplă într-un dielectric care taie circuitul, separînd armăturile? Fiecare punct al spaţiului interpus cîştigă o t.e.m. alternativă şi variabilă, aşa că fiecare variaţie electromotrice a cîmpului alternativ va influenţa moleculele ce vor suferi o polarizare dielectrică. Moleculele dielectricului ce conţin electroni fixi, vor fi polarizate de cîmpul electric, fiecare devenind sediul unui curent unic graţie căruia sarcinile electrice ce erau în echilibru se deplasează la extremităţile moleculei orientîndu-se spre armătura de sens contrar. Molecula polarizată la extremităţi realizează un dipol. Moleculele unor corpuri (albumina) posedă o oarecare orientare a sarcinilor aşa că un

cîmp electric va orienta toţi dipolii în acelaşi sens, orientare care se schimbă cu fiecare alternanţă.



Această schimbare de orientare, polarizare variabilă, constituie mecanismul intern al transportului curentului electric prin dielectrici. El se realizează cu o cheltuială minimă de căldură, neglijabilă în practică. Un astfel de curent este numit curent de deplasare. El se reduce deci la o deplasare a dipolilor şi a sarcinilor lor electrice. Opus acestui fel de curent avem curentul de conducţie sau convecţie ce urmează legea lui Joule şi care este datorit deplasării electronilor liberi şi ionilor.

Curentul de I.F. realizează o transformare continuă între curenţii de deplasare şi cei de conducere căci considerînd o sol.electrolită interpusă între plăcile unui cîmp electric, fiecare alternanţă va produce curenţi de deplasare în aerul ce separă cuva cu electrolit. Odată ajuns la electrolit, acest curent devine curent de convecţie şi încălzeşte electrolitul, pentru ca la celălalt capăt, în aer, să avem iar curent de deplasare.



Din toate cele arătate mai sus rezultă că curentul de I.F. nu este altceva decît un curent alternativ dar de o frecvenţă foarte mare, produs însă prin alte mijloace.

Aplicaţii

Datorită proprietăţilor sale speciale, curentul de I.F. are aplicaţii felurite şi importante. Citîm aci numai producerea undelor herţiene care

însăşi au o largă utilizare. Mai jos vom vorbi numai despre aplicaţiile lui biologice, aplicaţii numeroase şi îndelung utilizate în scopuri terapeutice.

Consideraţiuni biologice şi aplicaţii în medicină.

Un subiect plasat într-un cîmp alternativ de I.F. nu simte enormele intensităţi de curent ce-l traversează şi nici-un muşchi nu se contractă deşi în cazul acestor aplicaţii se depăşesc larg limitele de intensitate şi tensiune stabilite la celelalte forme de curent. Inexcitabilitatea neuromusculară este absolută. Singurele senzaţii pe care le acuză subiectul, sînt de ordin termic. Totuşi aci inexcitabilitatea nu exclude o acţiune foarte puternică asupra vaso-motricităţii, vieţii celulare şi schimburilor nutritive din organism.

Curentul de I.F. are următoarele acţiuni :

- o acţiune asupra metabolismului cu exagerarea schimburilor celulare;
- o acţiune vaso-dilatatoare (asupra arteriolelor, capilarelor, venulelor);
- o acţiune antalgică;
- o acţiune asupra microorganismelor, toxinelor, veninurilor;
- o acţiune inhibitorie asupra nervilor şi muşchilor;
- creşte temperatura ţesuturilor.

Deşi mecanismul inexcitabilităţii neuro-musculare nu este încă perfect cunoscut, asupra lui s-au emis mai multe ipoteze :

- Prima ar fi aceea că acest curent nu pătrunde în profunzime, ci numai la suprafaţa corpului, întocmai ca la conductorii metalici. Insă dacă aceşti curenţi n-ar circula decît prin epidermă, conform legilor lui Ohm şi Joule, ar însemna că epiderma la 3 Amp. să aibă o temperatură incompatibilă cu viaţa. (la 1 Amp numai, ar depăşi 1000°). Pe de altă parte, conductorul uman se comportă nu ca unul metalic ci ca unul electrolitic.

- A doua ipoteză aparţine lui D'Arsonval : nervul nostru acustic este excitat numai în cazul cînd numărul de vibraţii excitatoare este cuprins între 20 şi 38.000. Deasupra şi de desubtul acestor frecvenţe, el nu răspunde la nici o excitaţie. La fel se petrec lucrurile şi pentru nervul optic. Deoarece

acești nervi de sensibilitate specială nu răspund decît între limite bine determinate, va fi la fel și pentru nervii sensitivi și motori. La 20-30 excitații pe secundă începe tetanosul care devine perfect între 30 și 150 și crește pînă la 3500. Peste această cifră diminuă ca la 10.000 să devie minim, iar la excitații și mai numeroase să dispară complet.

- După Nernst (1899) insensibilitatea este datorită lipsei de durată în același sens a curentului, pentru a avea timp să producă electroliza apreciabilă a țesuturilor. Astfel excitația este condiționată de acumularea de ioni pe suprafața membranelor celulare din organism, adică de polarizarea acestor membrana . Variația de concentrație necesită un anumit timp, ori din cauza repiditătii schimbului sensului curentului, ionii nu mai au timp să se acumuleze în număr suficient pentru a da naștere excitației.

- După alți autori, această insensibilitate este datorită faptului că nervii conduc senzațiile la creer cu o iuțeală mult mai mică (timp de 10^{-3} sec.)în timp ce iuțeala de schimbare a sensului curentului oscilant de I.F. este mult mai mare(10^{-7} sec).

Primele aplicații în medicină ale acestori curenți au fost făcute de V.Zienek, însă cel care le-a studiat din p.d.v.fiziologic a fost D'Arsonval,din care cauză aplicarea curenților de I.F.în medicină poartă numele de darsonvalizarea.

Darsonvalizarea se poate face fie cu curenți cu tensiune ridicată și intensitate mică, fie cu tensiune mică și intensitate mare, fie aplicații cu tensiune și intensitate mare.

	V	A	Frecv.
Aplic.de tens. Efluvii,scîntei,	40-90.000	f.mică	500000-1000000
Aplic.de intens. Diatermie,u-s.	3-4000	3-4 A.	3500000
	1-2000	1-2 A.	500000-1000000
		5-10A.	10-100 milioane
Aplic.de tens. și intensitate pat.condensator	30-40000	3-500mA.	3-500000

Aplicațiile de mare tensiune și mică intensitate poartă numele de aplicații de tensiune. Ele se obțin cu ajutorul bobinei de inducție sau a rezonatorilor, dintre care cel mai folosit este induc-

rezonatorul lui Oudin.

Aplicaţiile de tensiune acţionează asupra ţesuturilor mai mult la suprafaţă prin efecte mecanice, acţionînd prin dislocarea ţesuturilor bolnave printr-un edem de sufuziune de ordin mecanic.

Sînt aplicaţii la distanţă, de obicei monopolare (în cazul în care electrodul este pus în legătură cu polul superior al rezonatorului) sau bipolare (cînd bolnavul este pus în legătură în acelaşi timp şi cu polul inferior al rezonatorului sau cu ambii poli ai bobinei de inducţie.

In funcţie de valoarea tensiunilor aplicate, acestea pot fi : tensiuni moderate(2-3000 v)sau tensiuni mari (peste 3000 v).

Aplicaţiile de tensiune se pot face prin una din următoarele modalităţi : efluvii, scîntei şi baia de I.F.

a) Efluviile se produc atunci cînd montăm un electrod în formă de stropitoare ce produce egrete violacee şi sinuoase ce se împrăştie în aer în toate direcţiile. Intregul organismul este străbătut de curentul de I.F., fapt care se poate proba printr-o simplă atingere cu degetul a oricărei regiuni a corpului, cînd se produce o ploaie de scîntei electrice. Orice aplicaţie de efluvii se întovărăşeşte de producerea de altfel foarte abundentă de ozon, ce se remarcă printr-un miros caracteristic foarte intens. Această producere atît de avantajoasă pentru pacienţi, este vătămătoare pentru medicul ce lucrează cu aparatul căci ozonul inspirat în doze mari şi repetate, este toxic.

Aceste aplicaţii au o acţiune caracteristică asupra motricităţii, producînd la locul de contact, contracţii musculare parţiale sau fasciculare (spre deosebire de ceilalţi curenţi), urmate de fenomene vaso-motorii ce se exteriorizează prin apariţia unor pete albe (piele de găină), din cauza spasmelor vaselor capilare ale pielii, urmate apoi de o zonă de eritem, explicată printr-o vasodilataţie paralitică. Dacă se creşte intensitatea curentului sau se continuă aplicaţiile pe acelaşi loc, se provoacă apariţia de flictene, apoi o adevărată mortificare a ţesuturilor, celulele fiind separate brutal unele de altele şi plutind într-un lichid limforeic abundent, după care urmează o cicatrizare foarte rapidă şi perfectă

(nu lasă urme sau cicatrice vicioase). Aplicat la ţesuturile bolnave, acest procedeu poartă numele de fulguraţie. Dacă se fac aplicaţii de efluvii uşoare (fără a se ajunge la stadiul de flictene)de-a lungul coloanei vertebrale, se determină o creştere notabilă a tensiunii arteriale datorită contracţiilor spsmodice ale fibrelor musculare netede. Ridicarea deşi pasageră, este destul de binefăcătoare în stările de astenie nervoasă sau hipotensiune.

Aceste aplicaţii posedă şi energice proprietăţi bactericide, distrugînd "molluscum contagiosum", vindecă rapid catarul gonococic al colului uterin şi transformă ulceraţiile şancrului în ulceraţie simplă,prompt vindecată.

b) Scînteile se produc dacă strîngem aceste efluvii asupra unui spaţiu mic, căci dacă apropiem un deget toate efluviile se concentrează asupra lui, plouînd cu mici scîntei violacee. Pentru o distanţă mică, scînteiile sînt alb-strălucitoare şi nu sînt deloc dureroase, lucru care se explică după Nernst datorită faptului că intensitatea senzaţiei de electrocutare a unui curent este invers proporţională cu rădăcina pătrată a frecvenţei sale.

Deci scînteile au aceleaşi acţiuni ca şi efluviile, obţinîndu-se în plus o acţiune analgezică manifestă, datorită inhibiţiei nervilor sensitivi.

c) Baia de înaltă frecvenţă se obţine atunci cînd pacientul este aşezat pe un scaun izolator, analog celui studiat la electricitatea statică,dar montat la capătul circuitului rezonator. In acest caz, se observă în semi-obscuritate cum ies efluvii prin toate punctele corpului. Spre deosebire de baia statică, aci intensitatea este mai mare şi astfel efectele sînt mai bune.

In raport cu acţiunea fiziologică şi terapeutică a aplicaţiilor de tensiune sînt mai mulţi factori importanţi care explică utilizarea acestor curenţi de un timp încoace pe o scară tot mai întinsă.

Astfel, prin aplicarea acestor curenţi se obţine o evidentă accelerare a activităţii celulare, a schimburilor nutritive, o creştere marcată a energiei vitale, o creştere a numărului hematiilor şi a leucocitelor şi o activare intensă a circulaţiei.

Această electroterapie este indicată în comba-

terea nevralgiilor superficiale " a frigore", ea avînd o acţiune calmantă şi sedativă manifestă, antiinflamatorie, antispasmodică, antipruriginoasă. Alte indicaţii mai sînt în : lichenul plan, urticarii, erupţiile zoosteriene acute, eczeme, peladă.

In urma efectului bactericid, scînteile se utilizează cu eficacitate în tratamentul inflamaţiilor gonococice.

Din cauza acţiunii antispasmodică şi cicatrizantă, se întrebuinţează cu deosebit succes în fisurile anale, hemoroizi.

Prin acţiunea necrozantă şi distructivă, se folosesc în tratamentul diferitelor plăci, în distrugerea negilor şi a micilor epitelioame cutanate sau mucoase.

In aplicaţiile de tensiune ale curenţilor de I.F. se utilizează o gamă întreagă de electrozi constituiţi din cilindri metalici sau de sticlă, fixaţi pe un suport izolator. Cei mai practici sînt electrozii cilindrici de sticlă în care se poate găsi aer (electrodul Oudin) sau vid (Mac Intyre).

Pentru toate aceste aplicaţii, se utilizează aparatele cunoscute de I.F. ca: Radiolux, Radiofor, Mediofor, etc. toate construite pe acelaşi principiu.

Sedinţele se pot practica zilnic sau chiar de două ori pe zi, cu o intensitate medie suportabilă şi o durată de 10-20 minute.

Din cele de mai sus rezultă că aceşti curenţi au aplicaţii multiple. Insă în ceea ce priveşte utilizarea lor în tratamentul diferitelor sindroame nevralgice, care constituie de altfel indicaţia de prim ordin, acţiunea este de cele mai multe ori limitată sau incompletă, aşa că aplicaţiile de tensiune se vor asocia cu aplicaţiile diatermice, cu vaporizaţiuni fierbinţi, cu iradiaţii actinice sau ionizări salicilice.

In celelalte cazuri, acţiunea este destul de rapidă şi constantă, ea asemănîndu-se în multe privinţi cu franklinizarea.

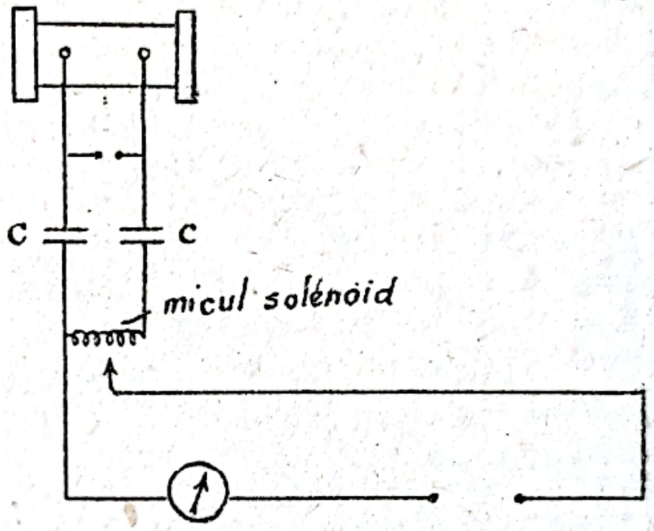
Aplicaţiile de mare intensitate şi mică tensiune acţionează în profunzime asupra ţesuturilor mai ales prin efect caloric. Se fac bipolare. Cînd unul dintre electrozi are o secţiune foarte mică, se măreşte considerabil densitatea electrică la acest nivel şi consecutiv fenomenele calorice; fapt

care duce la coagularea ţesuturilor (diatermo-coagularea).

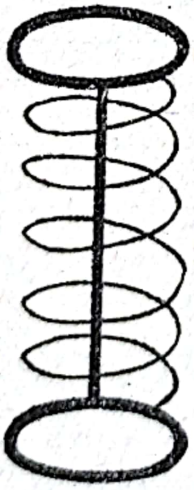
Aceste aplicaţii se pot face prin următoarele feluri : aplicaţii de cantitate şi aplicaţii calorice.

a) Aplicaţiile de cantitate cuprind la rîndul lor următoarele grupe : aplicaţii directe şi autoconducerea.

La aplicaţiile directe, bolnavul se leagă la două puncte mai mult sau mai puţin distante ale unui solenoid ce uneşte armăturile exterioare ale unui condensator. Cu cît numărul de spire intercalat între bornele circuitului va fi mai mare, cu atît va fi mai mare şi potenţialul aplicat bolnavului. Intensitatea are valori foarte mari, depăşind cîteva sute de amperi.



La autoconducere, bolnavul se aşează între spirele unui solenoid mare cu un fir gros. Deşi bolnavul nu este în contact cu nici o piesă metalică, el este sediul unor curenţi induşi foarte puternici. D'Arsonval a arătat că un individ aşezat în astfel de condiţiuni, cu braţele paralele spirelor, poate aprinde între degete dacă sînt destul de umede, o lampă cu incandescenţă. Solenoidul poartă numele de cuşcă de autoconducere sau de mare solenoid. El are aproape 1,80 m. înălţime şi 75-80 cm în diametru, conţinînd 20 spire.



Autoconducerea are următoarele efecte fiziologice :

- creşte schimburile respiratorii, dublîndu-se chiar termogeneza;
- asupra sistemului vasomotor are ca acţiune o vasodilataţie capilară;

- activează secreţia urinară, mărind substanţele extractive din ea şi în special ureea şi toxicitatea urinară. Măreşte şi aciditatea, azotul total şi fosfaţii, producînd o exagerare a metabolismului azotat. Raportul uree/acid uric se apropie de normal (1/40). Creşte şi volumul de urină;

- acţionează asupra microbilor şi toxinelor lor. Se pot astfel produce vaccinuri pentru bacilul difteric şi b.pyocianic. S-a atenuat toxina streptococică, veninul de cobra şi vipere şi b.Koch. Totuşi aceste experienţe făcute în vitro, n-au dat aceleaşi rezultate ca în vivo;

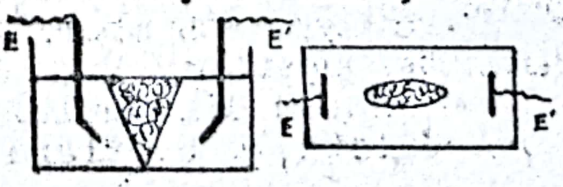
- formula leucocitară marchează o puternică leucopenie.

Autoconducerea a fost mult timp părăsită însă a revenit cu undele scurte, fie pentru aplicaţii locale, fie pentru aplicaţiile generale (electropyrexia).

b) Aplicaţiile diatermice sau de căldură sînt cele mai importante aplicaţii ale curentului de I.F. Pentru a se produce astfel de efecte biologice trebuie să intercalăm direct persoana în circuitul oscilant cu ajutorul unor electrozi metalici în formă de plăci şi care trebuie să fie foarte bine aplicaţi pe două regiuni opuse ale organismului. Vor trece astfel prin individ curenţi de I.F. ce constă din deplasarea oscilantă a ionilor existenţi în ţesuturi. Prin trecerea curentului şi datorită rezistenţei ce o întîmpină din cauza organismului, se produce căldură (efect Joule). Acesta este principiul formării de căldură prin acest procedeu. Dar pe lîngă acest efect, aplicaţiile diatermice mai au şi o acţiune inhibitorie, căci sub electrozi ţesuturile devin rapid mai puţin excitabile, diminuare ce poate merge pînă la analgezie. Ca urmare a acestei acţiuni, avem o relaxare a fibrelor netede ale aparatului vasomotor, de unde, dilatarea vaselor, congestie şi sudaţie, cu scăderea tensiunii arteriale.

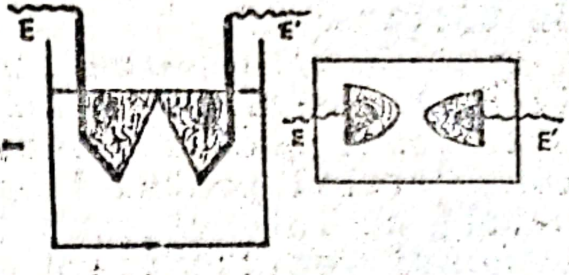
Dar efectele cele mai importante sînt cele calorigene, ilustrate prin două experienţe :

1. Într-un cristalizor ce conţine albuş de ou, se aplică la extremităţile vasului doi electrozi turtiţi şi se trece un curent de slabă intensitate ce se creşte progresiv. După un



timp se observă că la egală distanţă de electrozi se produce coagularea în toată profunzimea soluţiei.

2. Repetînd experienţa dar lăsînd să treacă de data aceasta un curent intens chiar dela început, coagularea se va face în jurul electrozilor.



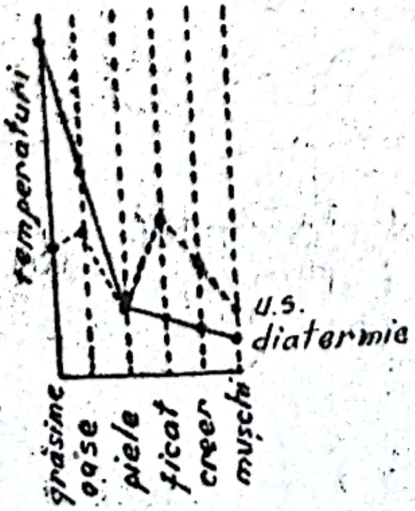
In ambele cazuri electrozii rămîn reci.

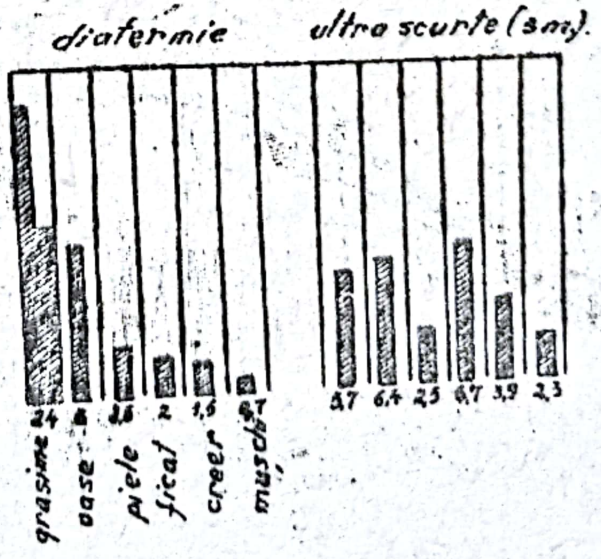
Asupra organismului uman lucrurile nu se petrec chiar aşa, căci chiar în aplicaţii locale, se produce încălzirea la distanţă datorită sîngelui circulant care transportă această căldură dela locul de producere. Căldura degajată în ţesuturi este răspîndită deci în tot organismul prin conductibilitate şi convecţie, acest ultim mod fiind mult mai important datorită circulaţiei sanguine. Sîngele joacă astfel rolul de refringerent şi de aceea organele vascularizate se încălzesc mai puţin. Aşa se explică faptul că în diatermie cel mai mult se încălzeşte ţesutul celular subcutan.

Efectele calorice se supun următoarelor legi:

- fiecare ţesut se încălzeşte la maximum pentru o lungime de undă dată;

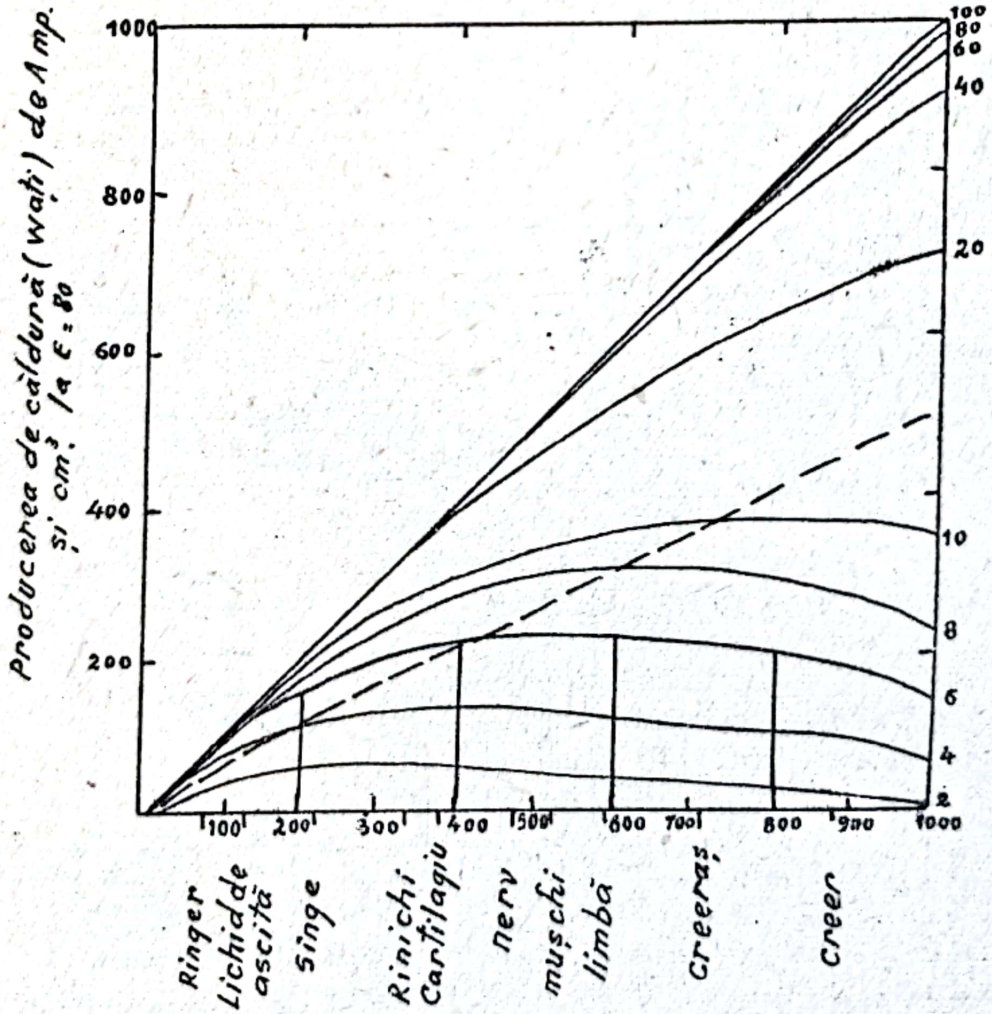
- fiecare lungime de undă încălzeşte diferitele ţesuturi într-o ordine diferită. Astfel experienţele lui Schliephake şi Kochler au arătat că în diatermie se încălzeşte cel mai mult ţesutul celular subcutan, apoi muşchii şi mai puţin oasele; pentru razele ultra-scurte (frecvenţa mai mare), efectele sînt inverse, adică cel mai mult se încălzesc oasele,





apoi muşchii şi cel mai puţin ţesutul celular subcutanat. Se capătă astfel o încălzire centrală (profundă) cu razele ultra-scurte şi una superficială în diatermie.

- Cu diminuarea lungimei de undă, diferitele ţesuturi manifestă o tendinţă de a se încălzi egal. Rezistenţa ohmică a ţesuturilor care joacă un rol considerabil pentru lungimi de undă deasupra lui 30 metri, nu intervine sub 20 metri. Cu cît un ţesut este mai rezistent, cu atît se încălzeşte mai mult în diatermie. Deci aceşti curenţi se supun legii lui Joule. In aceste condiţiuni curba termică este o dreaptă în funcţie de rezistenţa ohmică. Sub 20 m. curba coboară şi tinde spre orizontala. Cu toată rezistenţa care creşte, ridicarea termică diminuă. Curentul de foarte înaltă frecvenţă trecînd prin capacitate prin izolanţi, este dewatat .



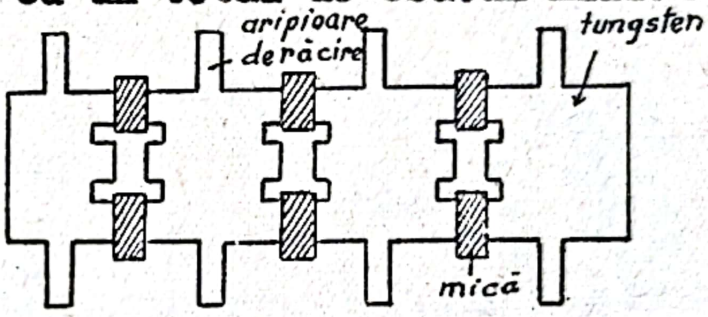
Deci în rezumat, efectele termice depind de : densitatea curentului, rezistenţa ţesuturilor, efectele capacităţii, influenţa circulaţiei şi lungimea de undă a razelor.

Dar acţiunea binefăcătoare nu este datorită numai căldurii ci şi fenomenului de rezonanţă celulară, adică datorită acţiunii oscilaţiilor asupra celulelor organismului.

Curenţii diatermici se obţin cu ajutorul aparatului de diatermie care pot fi cu eclator sau cu lampă.

Un aparat de diatermie cu eclator este compus din :

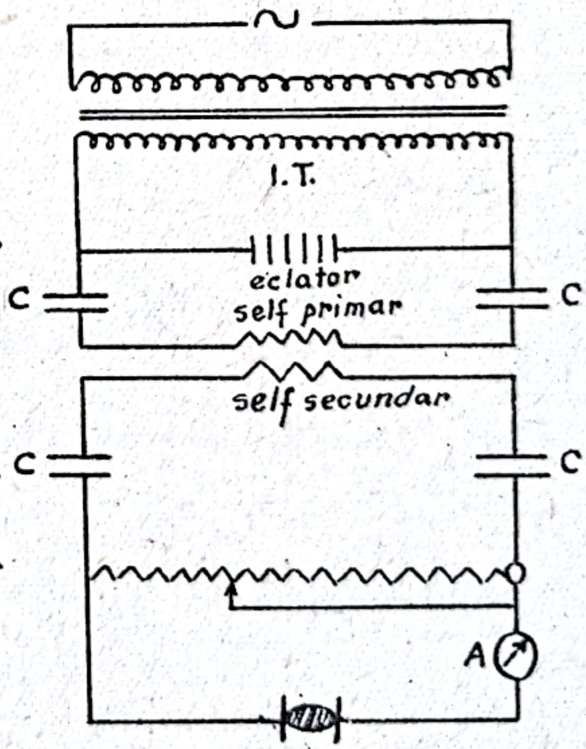
-Eclator ce are drept scop de a produce scîntei de cca.2000 pe sec. cu un total de cca.un milion oscilaţii pe sec. Eclatorul este format din plăci de tungsten separate între ele prin foi de mică şi un strat de aer. Plăcile au nişte aripioare de răcire.



-Un transformator ce dă o tensiune de cîteva mii de volţi.

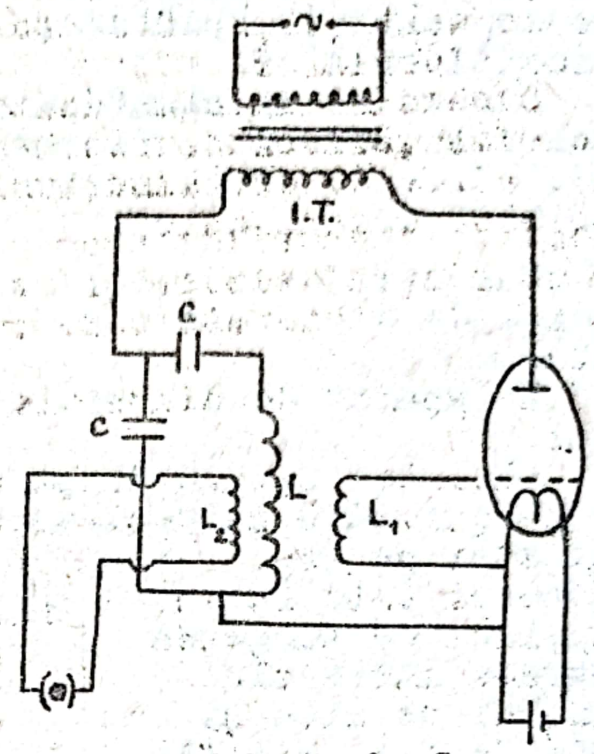
-Un circuit oscilant primar cu doi condensatori şi o bobină primară.

-Un circuit oscilant secundar sau de utilizare prevăzut tot cu doi condensatori şi un potenţiometru pentru reglat tensiunea.



Oscilaţiile se petrec între cei doi conductori sferici ai circuitului oscilant secundar ce au între ei o diferenţă mare de potenţial dar cu o rezistenţă mică. Tensiunea creşte, încarcă armăturile condensatorilor (nu pînă la valoarea maximă) cînd, din cauza rezistenţii mici a aerului, se descarc. Prima scînteie făcînd oficiul de ionizare a aerului, deci scăzînd rezistenţa lui, celelalte scîntei vor străbate mai uşor.

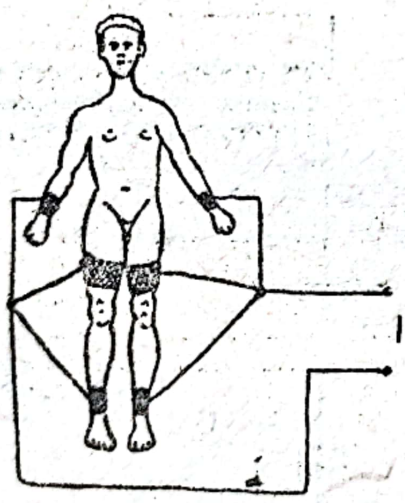
Un aparat de diatermie modern este aparatul de diatermie cu lampă. El este format dintr-un circuit oscilant care este cuplat, pe de o parte cu selful unei grile (L_1) datorită căruia fapt oscilaţiile sînt întreţinute, dar şi cu selful (L_2) a circuitului de utilizare. In rest schiţa electrică se vede din figura alăturată.



Aplicaţiile în medicină ale diatermiei se împart în două mari grupe : aplicaţii medicale şi aplicaţii chirurgicale.

1. Aplicaţiile medicale sînt : generale şi locale.

a) Aplicaţiile generale se fac la astenici, atonici, hipotermici, etc. deoarece aceste aplicaţii combat tulburările de nutriţie, turburările circulatorii, turburările sistemului nervos simpatic cît şi fenomenele spasmodice.



De multe ori rezultatele sînt încurajatoare.

b) Aplicaţiile locale la rîndul lor sînt externe şi interne (intracavitare).

Ele se aplică în :

- afecţiunile dureroase (nevralgii, artrite, algii abdominale, etc.);
- stările inflamatorii şi congestive în care au o acţiune rezolutivă datorită efectului lor vaso-dilatator. Se întrebuinţează astfel în degerături, ulcer varicos, obliterări arteriale, etc.;

- afecţiunile tubului digestiv, în special ale veziculei biliare (cholicistitele nelitiazice);
- în combaterea paraliziei generale, prin creşterea mare de temperatură (electro-pyroxia) cu rezultate mult mai bune decît şocul malaric.

2. Aplicaţiile chirurgicale ale diatermiei poartă numele generic de diatermo-coagulare şi în particular, bisturiul electric.

Bisturiul electric produce secţiuni fără mortificări de ţesuturi decît în unul, două straturi celulare. Plaga este sterilă şi deci se cicatrizează rapid nedînd astfel escare şi tulburările toxice consecutive lor. Hemostaza nu se produce prin coagulare datorită căldurii, decît în vasele mici. In vasele mari, hemostaza se produce prin alungarea celulelor endoteliale vasculare (ce conţin trombokinaza) şi care vor forma la rîndul lor, un trombus coagulant şi obstruant. Bisturiul electric se aplică deaceea în operaţiile de tumori, căci neproducînd sîngerare, nu produce nici diseminări la distanţă, lucru de căpetenie în ablaţiile de tumori. Se mai aplică şi în cazurile cînd este nevoie de obstrucţii ale vaselor mari. Socul operator cu bisturiul electric este mult mai mic decît cu bisturiul simplu.

In rezumat, acţiunile fiziologice ale diatermiei sînt : prin efectul caloric atît de pronunţat ea produce efecte sensitive ce pot dura dela 10' la cîteva ore. Produce şi o hiperemie activă ce se traduce printr-o roşeaţă vie a pielii. In profunzime determină o nutriţie crescîndă şi un aflux de polinucleare spre regiunea de tratat. In aplicaţiile generale, ridică temperatura centrală, accelerează ritmul respirator şi provoacă o intensă vasodilataţie periferică. Dacă aplicaţiile durează mult timp, pot determina moartea prin hiperemie. In acelaşi timp organismul economiseşte produsele necesare pentru menţinerea temperaturii sale, toate combustiile intraorganice sînt încetinite.

Curenţii întreţinuţi sînt foarte buni pentru secţiuni (electrodul activ fin) dar practic efectul de coagulare este insuficient. Curenţii amortisaţi prezintă efecte inverse. Deaceea în timpul manoperelor chirurgicale trebuiesc variaţi aceşti curenţi.

Intensitatea curentului necesară în aplicaţiile diatermice este :

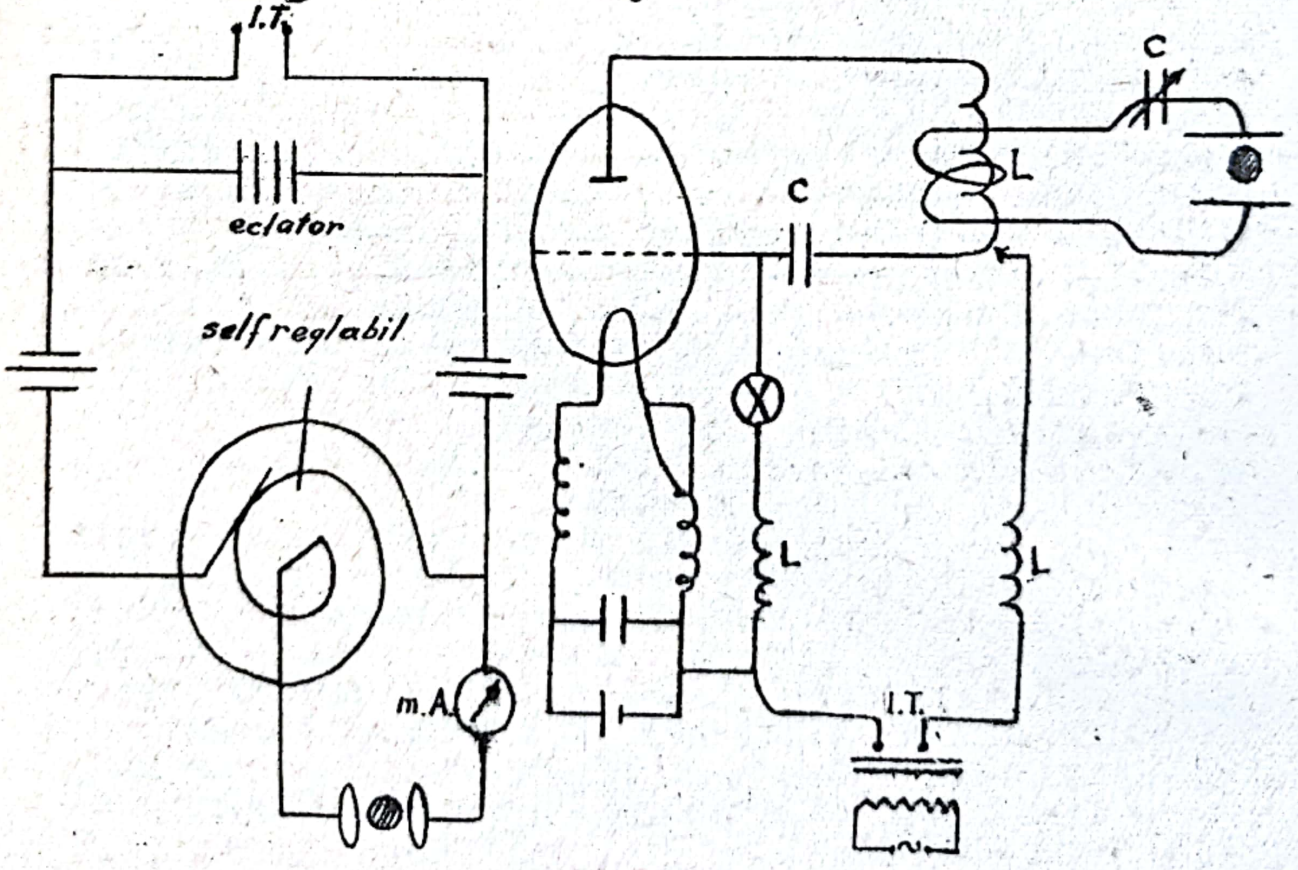
- în diatermia regiunii cervicale şi faciale între 800-1200 mA.

- în diatermia membrelor între 1000 şi 1800mA;
- în diatermia toracelui şi abdomenului între 1800 şi 3000 mA;
- în urologie, O.R.L. sau oftalmologie între 250 şi 1000 mA.

Durata unei şedinţe este de 25-45 minute.

Aplicaţiile de ultra-scurte tind să înlocuiască diatermia din cauza efectelor sale cît şi al pericolului mult mai mic. Din cauza lungimii lor mici de undă, curentul circulă mai uşor prin condensatori şi de aceea ne servim de electrozi în formă de condensatori ce se pot aplica la o distanţă oarecare de corp, ne mai fiind nevoie să fie chiar lipiţi de tegumente ca în cazul precedent. Deci marile avantagii ale aparatului de ultra-scurte faţă de cel de diatermie constă în : o pătrundere mai mare de căldură, posibilitatea de a dirija curenţii de I.F.în organism sau în ţesutul bolnav şi în fine, aplicarea lor este mult mai uşoară nefiind nevoie de o supraveghere continuă din partea personalului medical.

Un aparat de ultra-scurte nu se deosebeşte prea mult de cel de diatermie,aşa cum se poate vedea din figurile de mai jos.



Aparatul de ultra-scurte ca şi cel de diatermie, poate să fie cu eclator sau cu lampă. El are un self reglabil cu ajutorul căruia se pune în rezonanţă sursa emiţătoare de undă şi corpul pacientului. Rezonanţa se constată cu ajutorul unui bec de neon ce este intercalat în circuitul aparatului. Undele ultrascurte trec în mod uniform prin organism fără să ocolească anumite ţesuturi dar sînt mai dese însă la mijlocul electrozilor, deci în acea direcţie va fi efectul maxim.

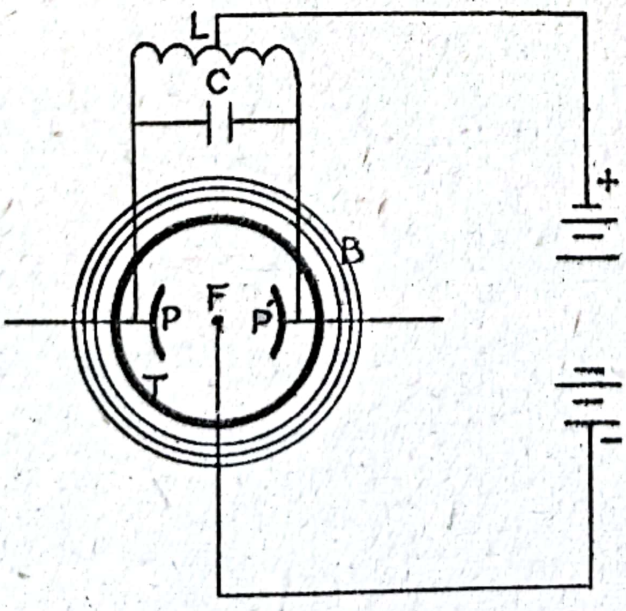
Aplicaţiile razelor ultrascurte sînt şi ele de două feluri : generale şi locale.

Aplicaţiile generale sau electropyrexia sînt produse cu aparate de mare putere ce în timp de o oră produc o încălzire mare a organismului pînă la 40-41°. Se întrebuinţează în : reumatism, gută, migrene, astm, eczeme, obezitate şi mai ales în unele boli nervoase (paralizia generală progresivă).

Aplicaţiile locale ce se produc cu aparatele obişnuite se întrebuinţează cu mult succes în maladiile dureroase ca : nevralgii de tot felul, cefalei, sinuzite, dureri dentare, abcese şi furuncule, afecţiuni osoase, reumatismul osteo-muscular, sciatică, lombago, etc.

De remarcat faptul că atît în diatermie cît şi în ultra-scurte se produc unde electromagnetice ce se pierd în văzduh fără nici o utilizare, căci organismul nu este sensibil la lungimi mari de undă.

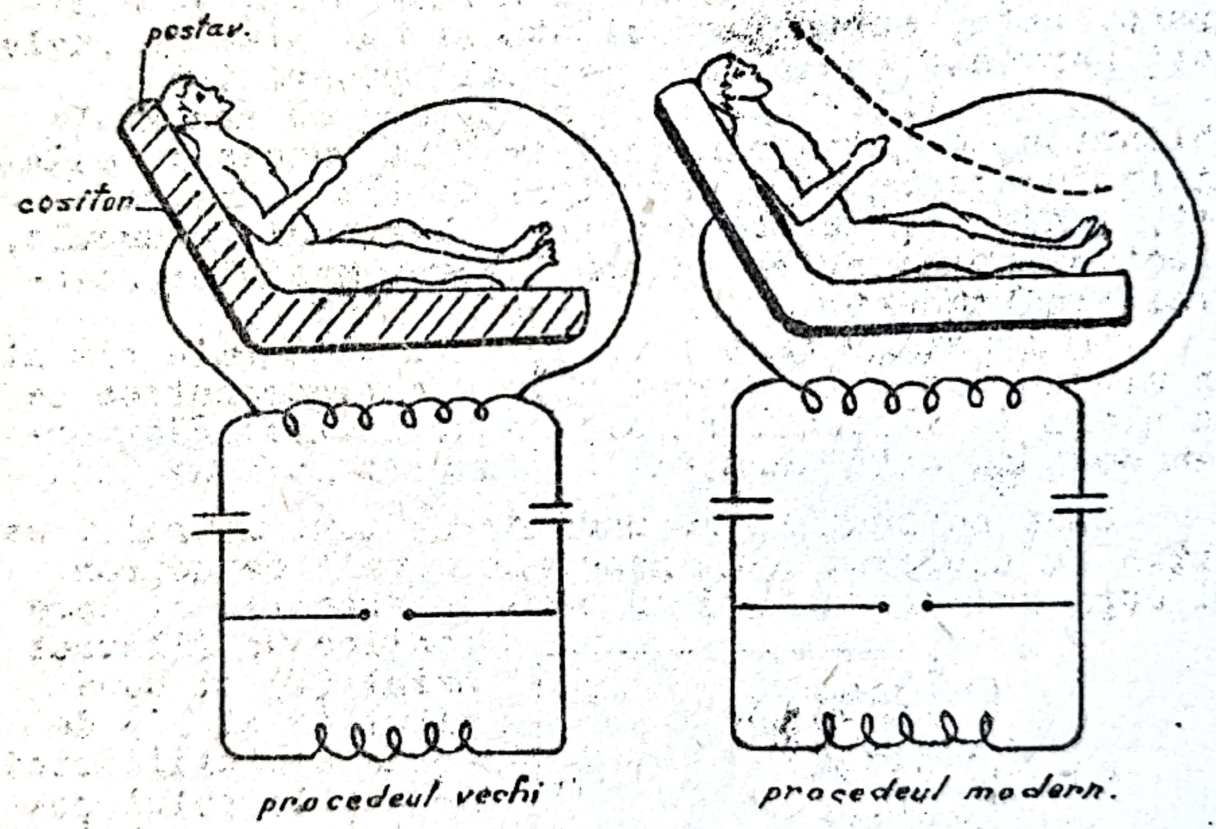
Unde cu lungimi de undă de ordinul metrului se obţin cu ajutorul unui generator numit magnetron. El cuprinde un tub (T) în care se face vid şi care conţine un filament axial (F) şi două plăci (P şi P') de formă semicilindrică legate la polul pozitiv al unei baterii, prin intermediul unui circuit oscilant format din cîteva spire (L) schuntat la o mică capacitate (C). In jurul tubului se găseşte o bobină (B) ce este parcursă de un curent ce produce un cîmp



magnetic dirijat după ax. Electronii emişi de filament, capătă sub influenţa cîmpului magnetic şi electric, traiectorii parabolice şi încarcă acea dintre plăci, care se găseşte la un potenţial mai ridicat. Aceasta devine atunci rapid negativă şi respinge electronii care vor încărca cealaltă placă şi a.m.d., de unde producerea de oscilaţii alternative de o foarte înaltă frecvenţă şi cu o putere relativ ridicată.

Aplicaţiile de mare tensiune şi mare intensitate cuprind procedeul numit patul condensator.

Procedeul a fost folosit în vechime, a fost părăsit foarte mult timp şi actualmente a fost reluat printr-un procedeu puţin schimbat.



Ca acţiuni fiziologice se constată :

- diminuarea şi apoi creşterea simţitoare a termogenezei la copii;
- o acţiune vaso-motrice, scăzînd tensiunea la artritici şi arterioscleroşi;
- o influenţare rapidă a secreţiei urinare (mai mult ca autoconducerea), crescînd tara ureei şi diminuînd-o pe cea a acidului uric.

TRECEREA CURENTULUI ELECTRIC PRIN GAZE

A fost studiată pînă acum trecerea curentului electric prin conductori. Această trecere prin conductori este datorită fie electronilor liberi (în cazul conductorilor solizi), fie ionilor (în cazul soluţiilor). Prin gaze însă, un curent cu o tensiune joasă nu trece deloc căci gazele constituie un mediu dielectric. Ca să treacă totuşi curentul prin gaze, acestea trebuie să fie ionizate.

Însă ionizarea gazelor se deosebeşte de ionizarea soluţiilor :

Disociaţia electrolită a unei soluţii constă în descompunerea unei molecule în două părţi, fiecare avînd cîte o sarcină electrică diferită. Prin ionizarea unui gaz, întotdeauna se separă de moleculă electroni, rămânînd astfel un ion încărcat pozitiv, sub forma unei părţi din moleculă. Însă în cele mai multe cazuri, electronii şi ionii gazoşi se asociază la una sau mai multe molecule neutre apărînd astfel în gaz ioni obişnuiţi uşori sau grei în funcţie de numărul moleculelor neutre asociate; aceşti ioni mobili se pun în mişcare într-un cîmp electric şi creează astfel un curent electric.

Procesul de ionizare a unui gaz este însoţit întotdeauna şi de fenomenul invers care constă în refacerea moleculelor neutre din ionii încărcaţi cu sarcini contrare. Regenerarea moleculelor din ioni se numeşte molizarea gazului sau recombinarea ionilor. Acest fenomen de refacere a moleculelor este foarte intens dacă se înlătură cauza care produce ionizarea gazului. Ca urmare, conductibilitatea electrică a gazului scade, deci ea este un fenomen temporar. Prin această proprietate se deosebeşte esenţial ionizarea gazelor de cea a soluţiilor în care se ştie că rămîne invariabilă cantitatea moleculelor disociate.

Ionizarea gazelor se poate obţine prin mai multe procedee :

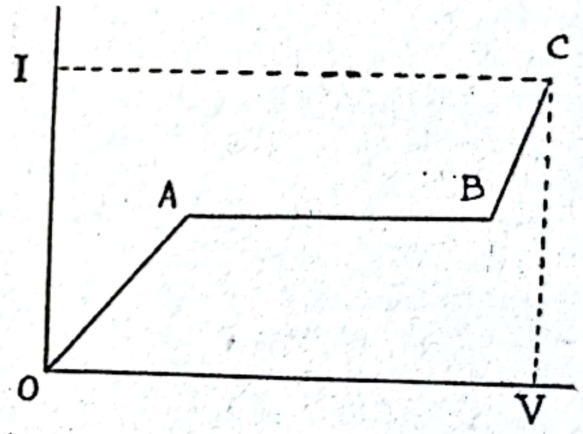
1. Cînd se aplică o tensiune foarte mare (cîteva mii de volţi cu condiţia ca drumul să fie scurt (ionizarea prin ciocnire).

Pe măsură ce se creşte potenţialul aplicat între electrozi, se constată că intensitatea curentului creşte treptat, aceasta pînă la o anumită va-

loare. Deci pentru potenţiale mici, intensitatea curentului este direct proporţională cu tensiunea aplicată. Prin urmare ionizarea gazului se supune legii lui Ohm. In acest caz, din numărul total de ioni produşi, partea cea mai importantă se moli-zează şi numai o mică parte rămasă ajunge la plăci creind curentul electric (dreapta O.A.).

Dacă diferenţa de potenţial continuă să crească, apare o intensitate a cîmpului la care cresc foarte mult vitezele ionilor, astfel încît recombinarea lor nu se mai poate produce. In acest caz toţi ionii creaţi în unitatea de timp vor fi antrebaţi de intemsitatea cîmpului; intensitatea curentului atinge valoarea maximă posibilă pentru substanţa care a ionizat - ionizator (Punctul A)

O creştere şi mai mare a diferenţei de potenţial nu mai măreşte intensitatea curentului, deoarece nu mai există ioni de rezervă care să poată fi puşi suplimentar în acţiune. Din acest moment intensitatea curentului încetează de a mai depinde de tensiune. Curentul a cărui intensitate nu depinde de diferenţa de potenţial aplicată, deci nu mai respectă legea lui Ohm, se numeşte curent de saturaţie. Pe grafic acest curent este reprezentat prin dreapta AB paralelă cu axa absciselor.



Dacă diferenţa de potenţial continuă să crească mai departe, intensitatea curentului începe să crească foarte rapid. Aceasta arată că pe lîngă ionii produşi de ionizatorul dat, au apărut şi alţi ioni datorită unor cauze diferite. Această nouă cauză este ionizarea prin şoc sau ciocnire. Acest ultim stadiu al fenomenului este reprezentat prin porţiunea BC.

Fenomenele arătate mai sus se observă nu numai în aer, ci şi în orice gaz s-ar afla în interiorul tubului.

In tubul cu gaz, ionii negativi se duc la anod dar cu o viteză mică căci aci diferenţa de potenţial este mică, astfel că aceşti ioni nu produc efecte notabile. De fapt anodul poate fi făcut din orice

metal şi poate fi aşezat oriunde. Ionii pozitivi însă, suferă o atracţie foarte puternică din cauza catodului, mai ales cînd ajung în apropierea lui, căci la catod există o diferenţă mare de potenţial. Ei vor căpăta viteze foarte mari şi bombardînd astfel suprafaţa catodului, provoacă o emisie secundară de electroni. Izbirea ionilor pozitivi provoacă pulverizarea catodului; pulberea este apoi respinsă şi se depune pe pereţii tubului, dînd o culoare violacee (fenomenul de metalizare a tubului). Electronii emişi de catod, datorită afluxului de ioni pozitivi, sînt respinşi de catod cu o mare putere şi vor izbi atomii şi moleculele de gaz rezidual întîlniţi în cale. Atomii vor fi sfărămaţi şi vor pleca unul sau mai mulţi electroni. Restul atomului va avea o sarcină pozitivă şi va deveni un ion pozitiv de gaz. Deci numărul de ioni creşte aşa cum creşte şi un bulgăre de zăpadă în căderea sa pe o vale; deaceea această creştere rapidă a numărului de ioni în mişcare, se numeşte avalanşa ionică.

In cazul ionizării prin ciocnire, intensitatea curentului creşte mult mai repede decît tensiunea.

Astfel, un cîmp electric puternic format în spaţiu dintre doi electrozi, poate crea singur condiţiile necesare pentru trecerea curentului prin gaze. Pentru aceasta este suficient ca în acest spaţiu să existe cel puţin un ion.

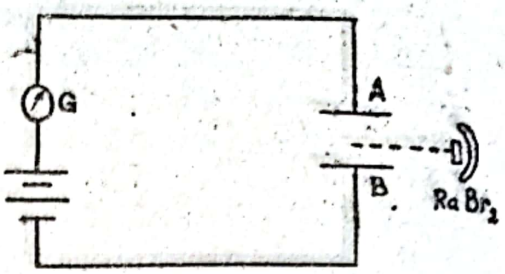
2. Gazul să fie influenţat de diverse radiaţii (razele roentgen, razele ultraviolete, radiaţiile radioactive, etc.).

Chiar fără iradieri cu diverse radiaţii, aerul are o slabă conductibilitate, considerată tot ca o ionizare şi anume o ionizare spontană datorită traversării razelor cosmice.

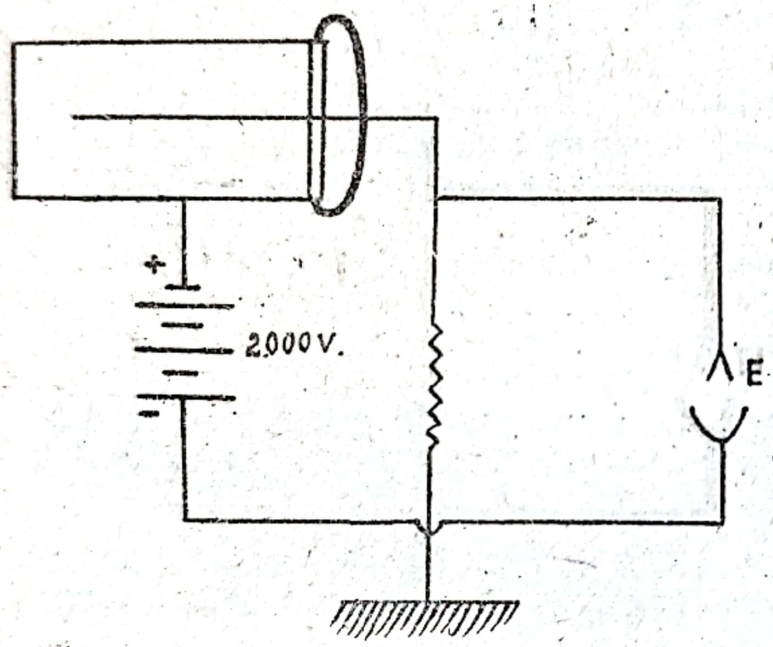
Gazele ionizate dacă sînt trecute asupra unui corp electrizat, îl descarcă, căci ionii de un semn, prin atracţie electrostatică vin să se lipească de corpul încărcat de sens contrar. Aerul ionizat avînd ioni pozitivi şi negativi, descarcă electroscopul, ori care ar fi semnul încărcării acestuia.

Ionizarea aerului produsă de către o radiaţie se măsoară cu ajutorul camerei de ionizare. O astfel de cameră este formată din două plăci metalice (A şi B) dispuse la o distanţă oarecare între ele şi cărora li se aplică o diferenţă de potenţial cuprinsă între 300-1000 volţi. Ele vor servi

drept condensator. In circuit se montează şi un galvanometru (G).Acul galvanometrului nu deviază. Dacă la o distanţă oarecare se aşează un corp ce produce radiaţii,curentul electric începe să circule.



Pe principiul camerei de ionizare se construieşte aparatul numit numărătorul cu vîrf a lui Geiger. Aparatul este format dintr-un tub metalic cilindric ce are un diametru de 4 cm. La un capăt are un dop izolator prin care pătrunde o vergea metalică terminată cu un vîrf ascuţit. In faţa vergelei, deci la celălalt capăt al tubului se găseşte o gaură mică cu un diametru de 1-3 mm.Vîrful este din oţel şi trecut prin flacără pentru oxidare, sau este de platină de 0,05mm grosime. In tub se lucrează la presiunea obişnuită cu o tensiune de 1-3000 v., potenţial inferior celui necesar pentru a da o descărcare distructivă. In tub se poate face şi vid pînă la

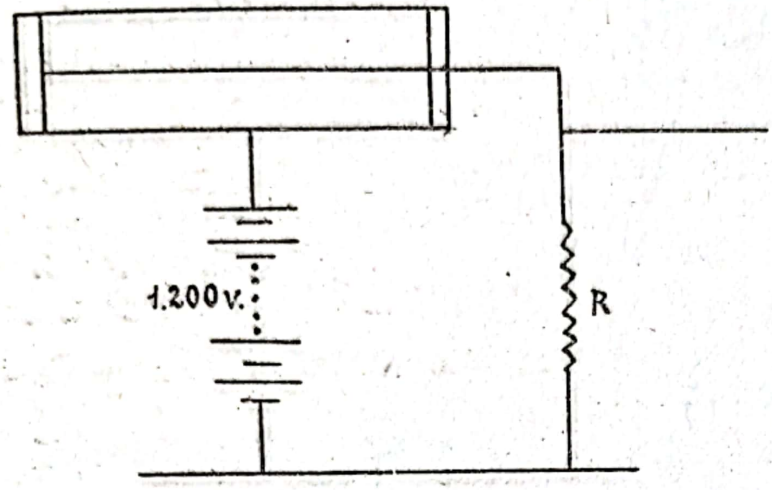


cîţiva milimetri de mercur cînd avem nevoie de potenţiale mai mici. In acest caz însă, se astupă gaura cu o foaie subţire de celuloid care e traversată de particole ionizante. Tubul este pus în legătură cu polul + al bateriei, iar vîrful este în legătură cu polul - şi cu un amplificator de T.F.F. şi un haut-parleur la care se va auzi fiecare descărcare distructivă provocată de fiecare particolă ionizantă ce a intrat prin gaura cilindrului numărător.

Vîrful poate fi în legătură şi cu o lampă triodă.

Pentru cazul particolelor puţine ce vin pe o suprafaţă întinsă (cum este cazul razelor cosmice şi pozitronilor), se întrebuinţează tubul numărător sau contoarul lui Geiger şi Müller.

Acest aparat este un tub lung de cca 20 cm ce are la ambele capete dopuri izolante de ebonit. Prin axul lui trece un fir subţire de fier sau tungsten ce are pe el un strat izolator (firul de fier este gros de 0,1 mm şi este oxidat prin ţinerea lui un moment în ac. azotic sau prin trecerea lui prin flacără). In tub este o presiune de cca. 50 mm mercur. El este pus în legătură cu polul negativ al unei baterii de 1200 v. Restul montării este acelaşi ca şi aparatul precedent.



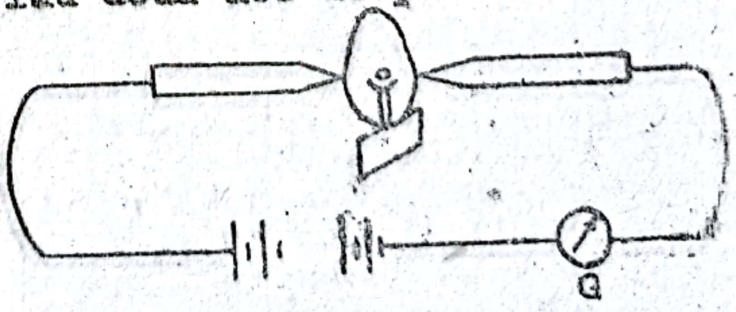
Dacă ajung în tub ioni sau particole ionizate fie că străbat pereţii tubului, fie că trec prin găuri făcute în tub şi acoperite cu o foaie subţire de aluminiu sau celuloid, se produce un proces de ionizare care provoacă un curent electric şi care punînd în mişcare un mic electromotor, se poate număra printr-un sistem de contoare, toate particolele ce intră în tub.

Acest contoar este mai sensibil decît cel cu vîrf căci măsoară un efect de volum.

Amîndouă aparatele pun în evidenţă particolele însă nu pot arăta felul lor.

3. Dacă sînt traversate de către gaze ce sînt emise de flăcări sau de gazele ce provin din reacţii chimice recente, de gazele din apropierea fosforului sau a altor metale ce se oxidează în aer, prin încălzirea la incandescenţă a metalelor din apropierea gazelor, *sau se încălzeşte aerul dintre electrozi.*

Experienţă : se iau două ace de platină ce se pun în legătură cu o baterie de 200 v şi cu un galvanometru şi care au între ele un mic spaţiu. Incălzind acest spaţiu la o flacără, acul galvanometrului



deviază, deci trece curentul electric. Conductibilitatea creşte apreciabil dacă în flacără se introduce o sare alcalină sau alcalino-teroasă care se descompune uşor în ioni. Flacăra este electrizată şi anume, partea exterioară cu ioni pozitivi iar cea interioară cu ioni negativi. Cele două soiuri de ioni se pot constata aşezînd flacăra între plăcile unui condensator pus în legătură cu o maşină electrostatică în funcţiune. Dacă se stinge flacăra şi se lasă fumul între plăci, maşina electrostatică funcţionînd încet, se văd două coloane de fum ce se îndreaptă spre plăcile condensatorului.

4. Dacă un electrod şi anume catodul este încălzit (efectul termoelectronic).

Descărcarea în gaze la presiunea atmosferică

Deoarece în aer există întotdeauna o cantitate mică de ioni şi deoarece un cîmp electric puternic produce el însuşi o ionizare ulterioară prin ciocnire, am văzut că se poate produce între electrozi o descărcare la presiunea normală cu condiţia să fie o diferenţă relativ mare de potenţial.

Descărcările la presiunea atmosferică pot fi de următoarele feluri :

- Descărcare lentă. Această descărcare la rîndul ei poate fi întunecoasă, în formă de ciorchine sau în formă de coroană.

Descărcarea întunecoasă se face de obicei între un plan şi un vîrf ascuţit.

Descărcarea în formă de ciorchine are următorul aspect: la anod apare un ciorchine violet luminos iar la catod o steluţă. Ciorchinele este format din mici steluţe care se sting imediat ce se depărtează de conductor.

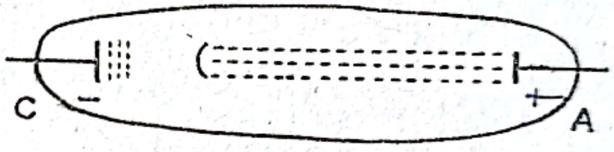
Descărcarea în formă de coroană se face pe conductorii de înaltă tensiune.

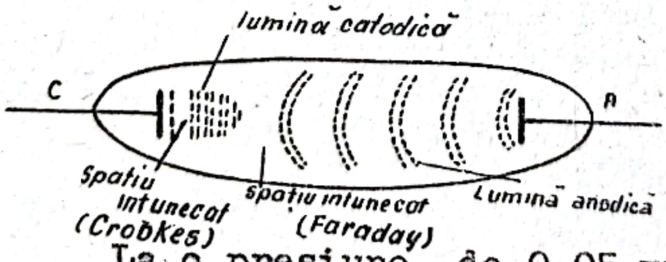
- Descărcarea sub formă de arc electric se face atunci cînd distanţe dintre electrozi este mică şi ei însăşi sînt încălziţi.

-Descărcarea în formă de scînteie se face atunci cînd tensiunea dintre două puncte oarecare este suficientă pentru ionizarea prin ciocnire, dar nu există un flux continuu de electricitate care să menţină un curent permanent. Se produce astfel o descărcare de scurtă durată ce se efectueaza sub forma unei scîntei.

Descărcarea în gaze la presiune scăzută

Trecerea curentului electric este mult uşurată dacă se rarefiază aerul. Ionii pot căpăta energia cinetică necesară disocierii moleculelor prin ciocnire nu numai prin creşterea tensiunii ci şi în cazul cînd tensiunea rămânînd constantă, creşte drumul liber parcurs de la o ciocnire la alta. Pe un drum lung acţiunea prelungită a unei forţe poate imprima o viteză mai mare astfel încît energia obţinută la capătul drumului va fi suficient de mare pentru a disocia moleculele ciocnite, chiar la o tensiune comparativ mai mică. Creşterea drumului liber mijlociu al ionilor de gaz se poate realiza prin rarefierea gazului dintr-un tub de sticlă. Sfărămarea atomilor se însoţeşte de fenomene luminoase care îşi schimbă aspectul pe măsură ce se scoate aerul din tub. Astfel la o presiune de 50 mm Hg., curentul trece sub forma unor benzi luminoase de culoare violetă ca nişte fulgere, între anod şi catod. La o presiune de 2 mm.Hg., lumina devine roşie şi umple tot tubul. Această lumină pleacă dela anod, dar nu ajunge la catod, în jurul catodului apărînd o lumină de culoare slab albăstruie, zisă lumina catodică, spre deosebire de cea roşie, numită lumina anodică. Intre cele două zone luminoase există un spaţiu neluminat (spaţiul obscur al lui Faraday). Un astfel de tub în care lumina anodică ocupă aproape tot spaţiul, poartă numele de tub Gaissler. Dacă vidul progresează pînă la 0,5 mm.Hg., se observă că lumina anodică se stratifică şi anume este formată din discuri alternativ luminoase şi obscure. Lumina catodică începe şi ea să se modifice ca aspect.





La o presiune de 0,05 mm.Hg., lumina anodică devine palidă, cu discuri mai rare. Spaţiul lui Faraday s-a mărit în dauna luminii anodice. Lumina catodică s-a divizat şi ea în trei zone : prima de culoare galbenă-aurie, a doua obscură (spaţiul lui Hittorf) şi a treia albăstruie şi s-a mai depărtat de catod. Dacă vidul este împins şi mai de-

parte, la o presiune de 1/1000 mm.Hg., lumina anodică dispare complet şi tot tubul este ocupat de spaţiul obscur al lui Faraday.

La un moment dat, lumina din tub dispare complet; în schimb pereţii din sticlă devin luminoşi, căpătînd o culoare verde (devin fluorescenţi). Un astfel de tub poartă numele de tub Crookes. Fluorescenţa apare pe peretele opus catodului; dacă schimbăm polii, fluorescenţa apare la celălalt capăt. Aşa dar acest fenomen este provocat de ceva ce pleacă dela catod. Acest ceva sînt razele catodice descoperite de Hittorf (1869) şi Crookes (1879). Wiedemann în 1883 le-a numit raze catodice deoarece provin dela catod.

Apariţia benzilor alternativ luminoase şi întunecate se explică astfel : ciocnirea şi sfărâmarea atomilor am văzut că se întovărăşeşte de fenomenele luminoase. Ciocnindu-se însă de molecule, viteza ionului se micşorează şi numai după un nou parcurs este atinsă iarăşi viteza anterioară; de aceea ionizarea prin ciocnire se obţine numai în unele locuri ale tubului. Luminiscenţa gazului apare în acele locuri în care se produce ionizarea prin ciocnire.

Razele catodice

Proprietăţi

1) Se propagă în linie dreaptă indiferent de poziţia anodului ce poate fi aşezat oriunde.

2) Produc fluorescenţa unor corpuri invizibile prin ele însăşi (a sticlei, cretei, sulfurei de zinc, etc în diverse culori). Aerul rezidual din tub se luminează pe parcursul lor, astfel ca razele catodice pot fi văzute în mod indirect.

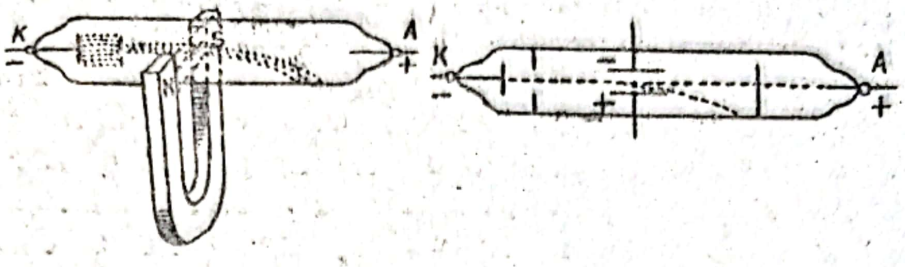
3) Produc efecte mecanice (deplasează un obstacol mobil). Se pare însă că acest fenomen nu-i datorit efectului mecanic ci curenţilor de căldură şi forţei electrostatice.

4) Produc efecte calorice (încălzesc sticla sau metalul pe care cad).

5) Produc efecte chimice (de ex. înnegresc placa fotografică şi ClNa sub acţiunea lor devine brun-închisă, culoare care dispare însă la lumina obişnuită.

6) Sînt deviate de un cîmp magnetic în direcţia în care acţionează un cîmp magnetic asupra unui

curent electric.

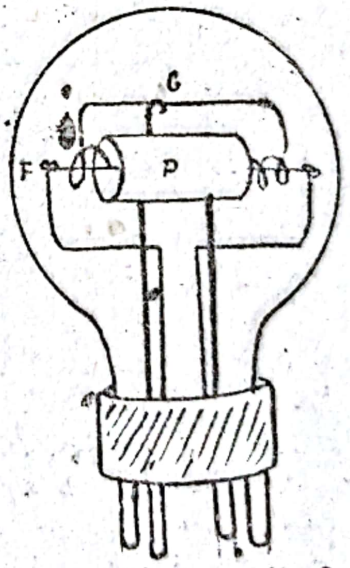


7) Sînt deviate de un cîmp electrostatic şi anume sînt atrase de placa pozitivă. Acest lucru probează că razele catodice nu sînt altceva decît un flux de electroni.

Aplicaţii

1) Lămpile electronice sînt lămpi cu o aplicaţie extrem de întinsă. Ele se bazează pe efectul termoelectronic, fenomen deja studiat. Pe acest principiu a construit Fleming (1904) lampa cu doi electrozi care serveşte la redresarea curentului electric prin anihilarea uneia din fazele curentului alternativ. Cîţiva ani mai tîrziu, Lee de Forest (1907) îi adaugă încă un electrod (grătarul sau sita) formînd aşa zisa lampă cu trei electrozi (trioda).

Lampa prezintă patru contacte exterioare : două pentru filamentul catodic, unul pentru placă şi unul pentru sită,



Trioda are mai multe funcţiuni importante şi anume funcţionează ca :

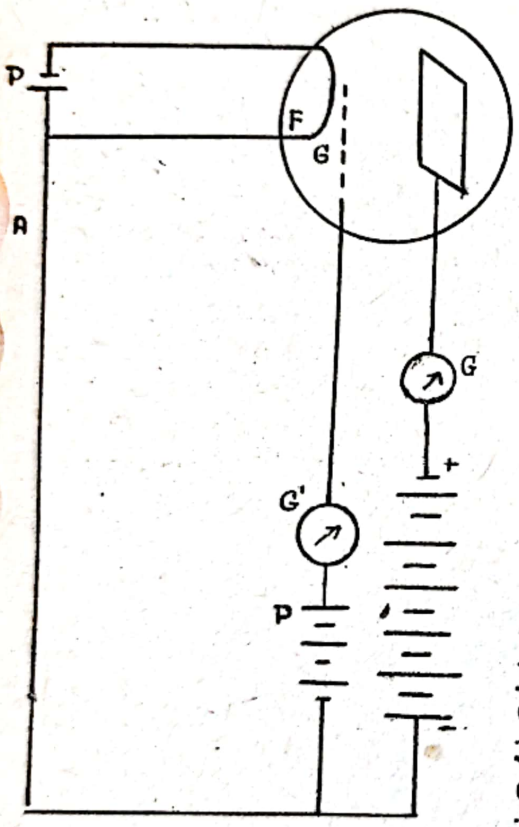
- redresoare de curent;
- amplificatoare de curent;
- generatoare de oscilaţii întreţinute;
- detectoare.

Ca redresoare.

Funcţia de redresare este efectuată de sită. Astfel cînd aceasta este încărcată pozitiv, adică de acelaşi sens cu placa, curentul trece; dacă însă are un potenţial negativ, electronii emişi de filament nu mai pot ajunge la placă deoarece în drumul lor întîlnesc sita care îi respinge.

Ca amplificatoare.

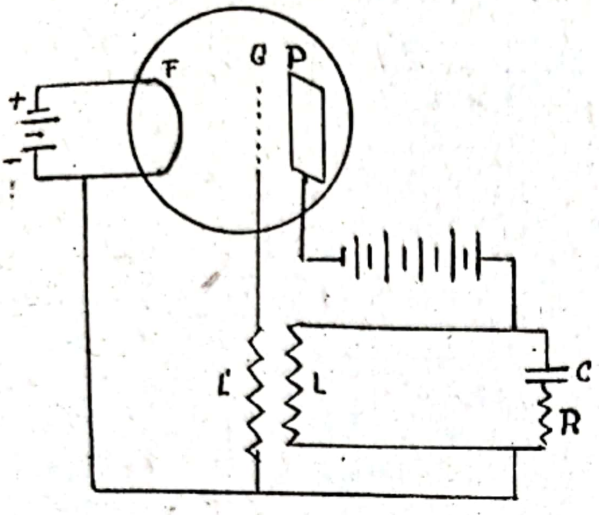
Să presupunem că sita poate să aibă faţă de filament, fie un potenţial pozitiv mai mare sau mai mic, fie chiar un potenţial negativ. Cînd potenţialul sitei este pozitiv, electronii vor ajunge la placă în număr mare, astfel că va creşte curentul dintre filament şi placă. Ajutorul dat de sită este foarte important chiar pentru creşteri mici de potenţial pozitiv al ei, căci fiind foarte aproape de filamentul catodic, va atrage electronii cu foarte mare putere. Placa ar trebui să aibă foarte mulţi volţi în plus ca să realizeze acest aflux electronic pe care sita îl obţine cu o creştere foarte mică de potenţial. Sita prin însăşi alcătuirea sa lacunară, lasă drum liber prin golurile ei, electronilor ce se duc astfel la placă. Numai puţin electroni sînt opriţi de ea şi conduşi la anodul pilei (P') unde închid circuitul zis al "sitei". Cînd sita are potenţial negativ faţă de filament şi anume dacă acest potenţial este mic (cîţiva volţi), va lăsa totuşi să treacă un număr oarecare de electroni care sînt atraşi cu putere de placă. Cînd însă potenţialul negativ este destul de important, sita respingînd electronii, curentul din lampă va înceta. Sita modifică astfel curentul anodic sau chiar îl opreşte după semnul potenţialului ei. Curba care reprezintă valorile pe care le ia intensitatea curentului anodic (între filament şi placă) la fiecare valoare a potenţialului sitei, poartă numele de caracteristica lămpii. Această curbă este foarte abruptă în porţiunea cuprinsă în vecinătatea lui zero al potenţialului sitei; adică pentru foarte mici variaţii de potenţial ale sitei, intensitatea curentului anodic creşte sau descreşte foarte mult.



Ca generatoare de oscilaţii întreţinute.

Pentru ca o lampă să poată avea această funcţiune, ea trebuie să prezinte un circuit oscilant

format dintr-o bobină de self (L), un condensator (C) şi o rezistenţă (R), intercalat în circuitul exterior al plăcii. Pentru ca în acest circuit oscilant să aibă loc oscilaţii neamortizate, trebuie să aplicăm sitei o tensiune variabilă, căci în acest caz, curentul anodic devine foarte variabil datorită sitei şi întreţine astfel oscilaţiile în circuitul oscilant(LCR).



In circuitul LCR au loc oscilaţii cînd se dă drumul curentului anodic, căci acest curent încarcă condensatorul (C), ceeace reprezintă o curgere a curentului în tot circuitul anodic. Condensatorul odată încărcat, se descarcă prin bobina de self (L), dînd oscilaţii în circuitul oscilator.

Fiecare diminuare în curentul care parcurge (L) are ca efect creşterea curentului care trece prin (L'). Ori cea mai mică variaţie în potenţialul sitei acţionează asupra intensităţii curentului filament-placă. Diminuarea intensităţii curentului în circuitul oscilant are deci ca rezultat o creştere a potenţialului sitei, graţie căruia oscilaţia se întreţine.

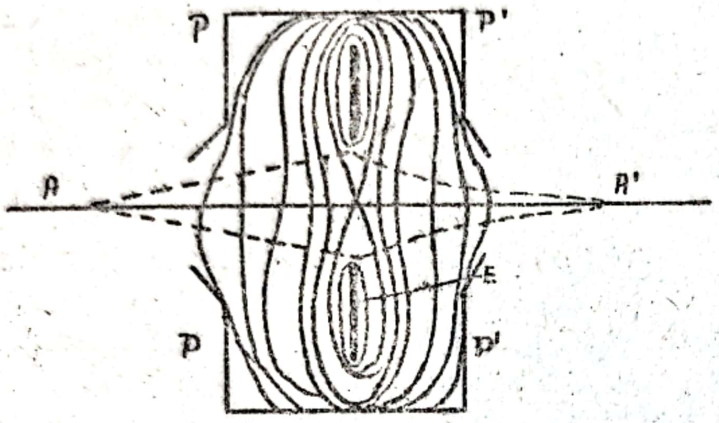
2) Microscopul electronic. Se poate oare înlocui lumina care este o radiaţie cu electroni? Ca răspuns să facem următoarea experienţă: dacă ţinem de ex.mîna sub lumina unui bec electric, se capătă pe masă imaginea mărită a mîinii. Dacă în loc de lumină turnăm de sus nisip fin, vom căpăta imaginea aceleeaşi mîini.

Primul microscop electronic (supramicroscopul) se pare că a fost construit de Knoll şi Ruska (1932-33). El a fost perfecţionat de Ruska şi V.Borries, Krause, Beische şi Mahl. In U.R.S.S. se numără o serie întreagă de savanţi cari au construit microscoape electronice : A.Lebedeev, V.N.Vertzner şi N. G.Zandin.

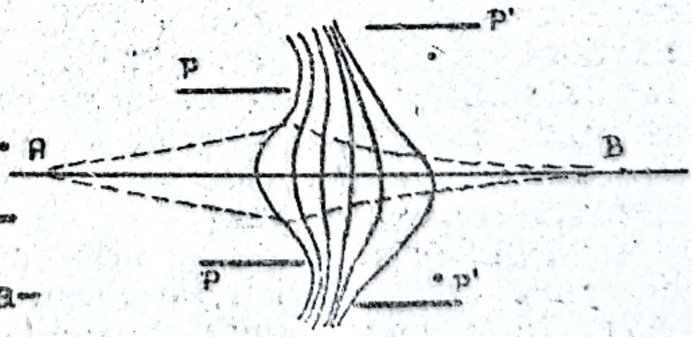
Principiul de funcţionare al unui astfel de microscop este acela al mişcării electronilor într-

un cîmp electric sau magnetic care joacă rolul unei lentile într-un microscop obişnuit. Vor fi astfel două feluri de lentile : lentile electrostatice şi lentile magnetice.

Iată în ce constă o lentilă electrostatică : să considerăm un sistem ca acela din figură în care plăcile metalice P şi P' au o formă inelară, sînt centrate pe acelaş ax (A-A') şi au acelaşi potenţial. In mijlocul lor se găseşte o placă inelară (E) dar cu potenţial diferit de primele. Se creiază astfel un cîmp electric, în care suprafeţele echipotenţiale sînt suprafeţe curbe, simetrice faţă de axul comun (reprezentate în figură prin linii pline). Dacă din A porneşte un fascicol de electroni, la trecerea prin cîmpul electric se va reflecta şi va fi strîns astfel în punctul A'. Simetria de construcţie faţă de ax, face ca fascicolul de electroni să se strîngă în forma unui fus.



Un alt model de lentilă electronică, este acela format din doi cilindri (P şi P'), încărcaţi la potenţiale diferite. Şi în acest caz lentila funcţionează ca o lentilă convergentă. Presupunînd că în A este un izvor de electroni, ei se întîlnesc în B, unde formează imaginea izvorului A.

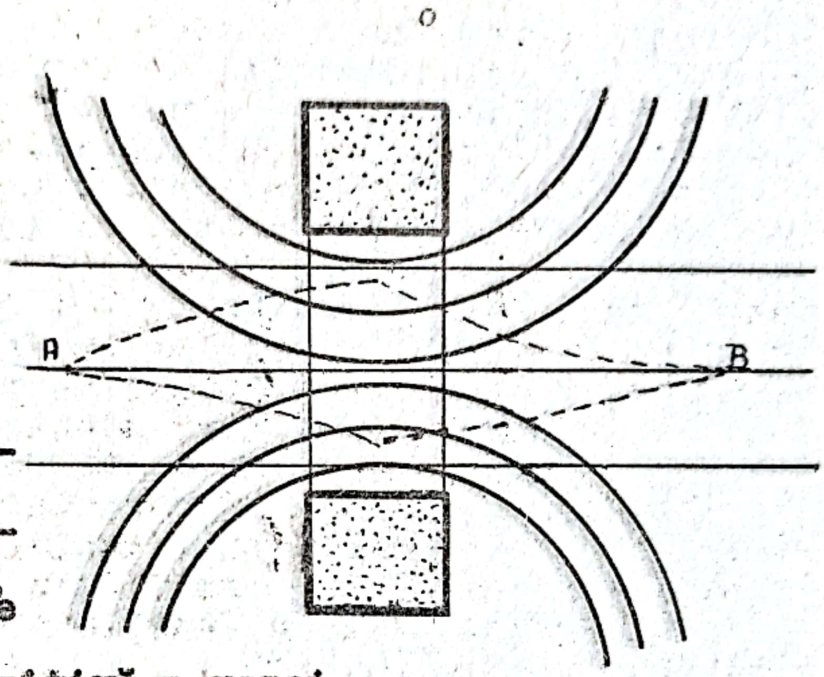


Cu cît raza electronică intră în lentilă mai departe de ax, cu atît se îndoaie mai mult sub influenţa forţelor electrice spre ax, deci cu atît se refractă mai puternic.

Lentilele electrostatice au fost inventate de H.Busch (1926).

Lentilele electrostatice refractă cu atît mai puternic cu cît este mai mare viteza electronilor, tensiunea electrică aplicată între plăci şi cu cît este mai mică distanţa dintre ele.

La lentilele magnetice există o deosebire faţă de cele electrostatice, deosebire care rezultă chiar din modul cum deviază cîmpul magnetic, o rază electronică.



In cîmpul magnetic creat de o bobină, razele electronice sînt concentrate într-un singur punct, dar după ce au parcurs un drum helicoidal, impus de necesitatea de a sbate întotdeauna perpendicular pe planul format de cîmpul magnetic şi direcţia primitivă a razei.

Acţiunea de concentrare a lentilelor magnetice scurte asupra fascicolului divergent de electroni se explică prin aceea că, cu cît fascicolul intră în lentilă mai departe de ax, cu atît cîmpul magnetic le îndoaie mai puternic. Acţiunea măritoare a acestor lentile se explică prin faptul că trecînd prin cîmpul magnetic concentrat într-un spaţiu nu prea mare, electronii nu au timpul să descrie decît o parte din elice, de aceea ei ies din lentilă puternic deviaţi faţă de direcţia primitivă, iar imaginea unui punct al obiectului se produce mai departe de axul optic al lentilei magnetice, decît de locul unde se află punctul obiectului. Odată cu aceasta se produce şi imaginea mărită a obiectului.

Lentilele magnetice refractă cu atît mai puternic şi deci dau o imagine cu atît mai mare, cu cît cîmpul magnetic este mai puternic, cu cît el este concentrat într-un spaţiu mai mic şi cu cît viteza electronilor este mai mică.

Lentilele magnetice au fost inventate de Davison şi Calbich, Brüche şi Johannsen (1931).

Scanned with OKEN Scanner

Lentila magnetică are avantagii în comparaţie cu cea electrostatică. Astfel reglarea puterii măritoare este mult mai uşoară. In timp ce la lentila electrostatică trebuie schimbată înalta tensiune, greu de manipulat, sau trebuiesc înşirate una după alta cîteva lentile, la lentila magnetică se schimbă numai curentul ce alimentează bobina. Cum acest curent nu are niciodată o intensitate mai mare de 2-3 Amp.,o astfel de reglare nu prezintă nici o dificultate. Alt avantagiu este acela că în timp ce tensiunea pentru lentilele electrostatice este de 50-100.000 v.,potenţial ce produce destul de des fenomene distruptive, la lentilele magnetice tensiunea este doar de 60-100 v. Lentilele magnetice au o putere măritoare mai mare (se văd obiecte de 7-10 ori mai mici). Se pot studia prin transmitere şi pelicule mai groase de preparat.

Si în cazul lentilelor electronice ca şi în cazul celor optice, putem vorbi de o distanţă focală, distanţă care este reprezentată de locul în care se adună electronii care înainte de a trece prin lentilă erau dirijaţi paralel sau divergent.

După principiul de funcţionare, microscoapele electronice se împart în :

Microscoapele cu emisie. Cu acestea se pot vedea doar obiectele ce emit ele însăşi electroni (metalele). Acest fapt a făcut ca aceste microscoape să nu capete o utilizare largă.

Microscoapele cu reflexie sînt bazate pe faptul că electronii căzînd pe suprafaţa examinată,se reflectă diferit în diferite direcţii, în funcţie de structura suprafeţei. Electronii reflectaţi nimeresc apoi împreună în lentilele microscopului şi dau o imagine a suprafeţei studiate.

Microscoapele cu transmisie sînt cele mai folosite. Obiectul se aşează pe o membrană subţire. Electronii trecînd prin membrană şi obiect, sînt împrăştiaţi. Numai o parte se mişcă în linie dreaptă şi vor forma imaginea. Acest sistem de microscop electronic se aseamănă foarte mult cu microscopul optic.

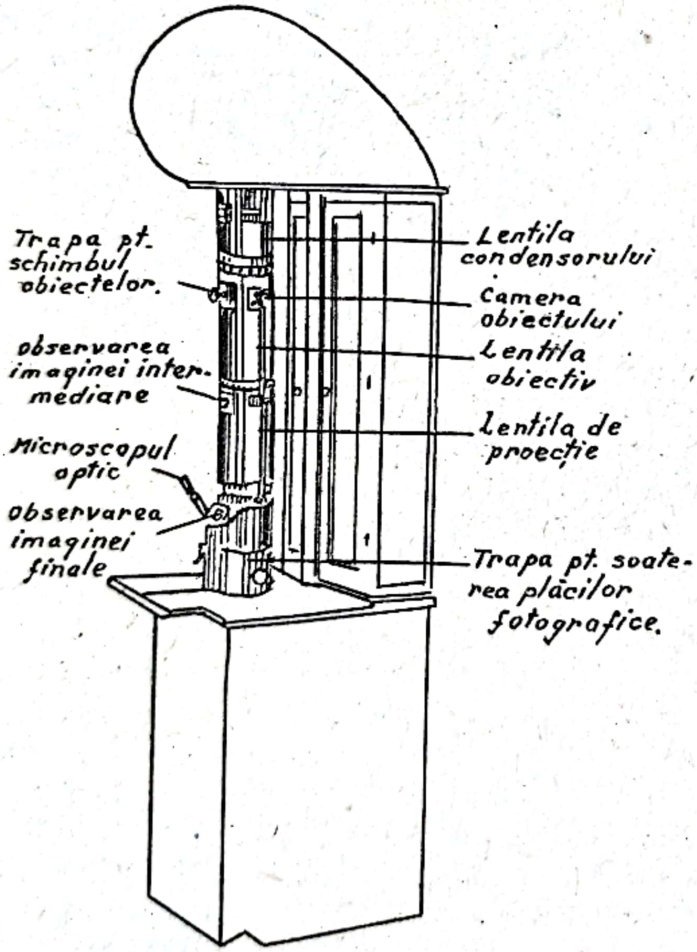
In mare, un supramicroscop este asemănător unui tub Braun, în care radiaţiile electronice trec printr-o serie de lentile electronice astfel plasate în ceea ce priveşte focarul lor, încît se comportă din p.d.v.optic ca şi lentilele microscopului obişnuit.

Microscopul electronic cu lentile electromagnetice are următoarele părţi componente :

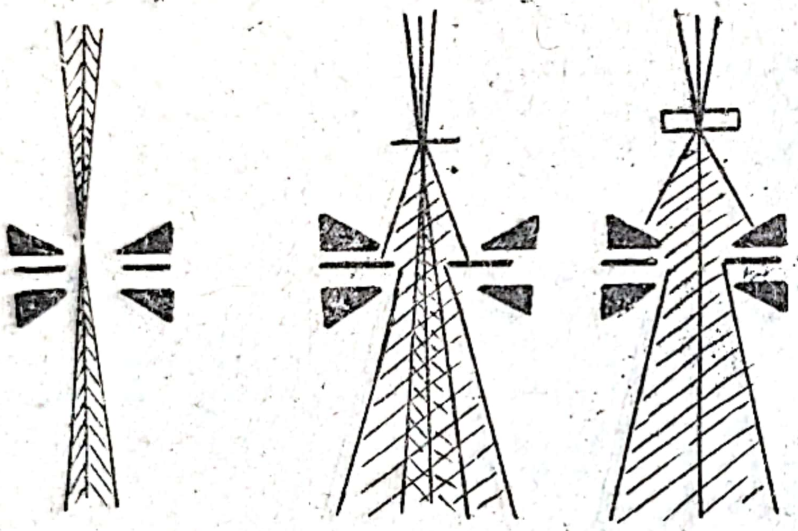
- Un catod incandescent, construit din sîrmă subţire de wolfram. Un cilindru Wehnelt prevăzut cu un orificiu foarte îngust, acoperă catodul astfel încît electronii ce pleacă divergent, sînt strînşi. Cilindrul Wehnelt constituie cea de a doua parte - diafragma anodică.

- Un anod reprezentat de către o foaie metalică foarte subţire şi pe care traversînd-o sub formă de fascicol foarte îngust, razele electronice trec mai departe prin ecluza obiectului de examinat.

- Obiectul de examinat trebuie să fie aşezat pe un suport metalic cu un aspect de trunchi de con, acoperit cu o foiţă metalică groasă de 3 mm şi perforată cu un orificiu cu diametru de 0,1 mm. In momentul trecerii prin obiect, electronii suferă o slăbire în mod diferit faţă de numărul variabil de atomi ce constituiesc masa de diferite densităţi a obiectului. Aci se petrece fenomenul de difuziune a electronilor, fenomen datorit ciocnirii electronilor cu atomii substanţei de cercetat. Cu cît aceasta este mai densă şi într-un strat mai gros, cu atît difuzează mai mulţi electroni. Acest lucru nu este suficient pentru obţinerea imaginii, căci deşi căpătăm în diferite sectoare ale obiectului de examinat electroni difuzaţi diferit, totuşi numărul lor ce ies din diferite porţiuni ale peliculei şi ale obiectului, rămîne absolut acelaşi; nu se produce nici o absorbţie de electroni în peliculă şi obiect. In cazul acesta, cînd



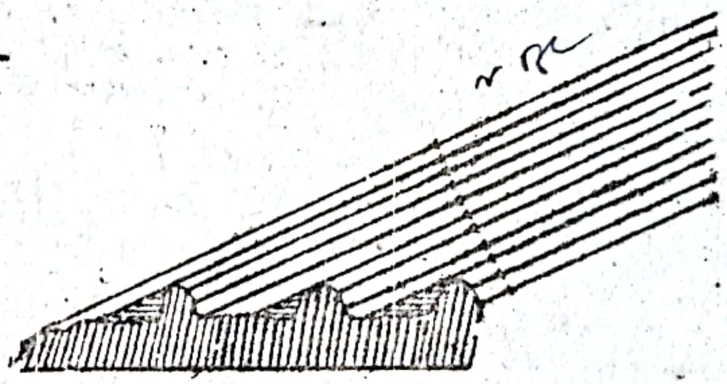
lentila următoare - obiectivul - va concentra electronii difuzaţi ,se capătă o iluminare egală în toate punctele ecranului fluorescent (sau înnegrirea omogenă a plăcii fotografice). Cu alte cuvinte, nu se vede imaginea obiectului. Pentru a obţine o imagine, trebuie făcut astfel încît cantitatea de electroni care trece prin obiectiv venind din sectoare diferite ale obiectului examinat să fie diferit. Astfel, celui mai dens şi mai gros sector al obiectului îi vor corespunde cele mai închise puncte ale imaginii, adică vor apare contrastele necesare. Acest lucru se face cu ajutorul diafragmei de apertură ce este alcătuită dintr-un disc metalic ce are în centrul său o găurică rotundă cu un diametru de cîteva sutimi de mm. Drept material pentru diafragmă poate folosi platina sau arama. Diafragma de apertură se aşează între piesele polare ale obiectivului,astfel ca centrul ei să coincidă cu axul



lentilei. Figura alăturată ne arată ce se întîmplă cu electronii difuzaţi. Ei nu ies prin lentila obiectiv. Ea nu lasă să treacă prin obiectiv acei electroni care în urma difuziunii nu nimeresc în deschizătura ei. Cu cît unghiul sub care sînt difuzaţi electronii este mai mare, cu atît mai puţini dintre ei vor trece prin lentila obiectiv.Unghiul de difuziune este cu atît mai mare cu cît este mai densă şi mai groasă porţiunea respectivă a obiectului. In acest mod, datorită difuziunii diferită a razelor electronice şi a acţiunii diafragmei de apertură, prin lentila obiectiv vor trece prin diferite porţiuni ale obiectului, cantităţi diferite de electroni. Tocmai acest lucru este necesar pentru a căpăta o imagine cu contraste a obiectului. Diafragma de apertură mai este necesară şi pentru corectarea aberaţiei de sfericitate.

Obiectul de examinat trebuie să fie extrem de subţire şi se pune, fie liber în dreptul orificiu-

lui lame metalice ce serveşte de port-obiect,fie că se aşează pe o peliculă artificială de japonlack în grosime de cîţiva mm, pe care o întindem peste orificiul port-obiect. Pentru a mări contrastele imaginii formată din juxtapunerea pe ecran a fascicolului electronic slăbit în mod inegal în trecerea lui prin mase de densităţi diferite ale obiectului, este bine ca acesta să fie tratat în prealabil cu metale grele ca acidul osmic, aurul coloidal,etc. Insă cînd particula examinată are o dimensiune mică şi este alcătuită dintr-o substanţă puţin densă, difuziunea electronilor de către particulă diferă foarte puţin de difuziunea electronilor de către porţiunile peliculei în care nu există particule. In acest caz nu se poate forma imaginea particulelor pe ecranul fluorescent sau pe placa fotografică. Pentru a înlătura acest inconvenient, recent a fost propus un mijloc foarte ingenios denumit metoda umbrelor. Principiul este explicat în fig.alăturată : un fascicol slab de raze de metal pulverizat cade în vid sub un unghi anumit,asupra obiectului.Drept rezultat al incidenţei oblice, atomii metalului pulverizat acoperă porţiunile în relief ale obiectului examinat într-o măsură mai mare decît spaţiul dintre particule. In felul acesta, pe creştetul convexităţilor se depune o cantitate mai mare de atomi ai metalului. Acest atrat suplimentar de metal depus chiar pe nişte ieşituri aşa de puţin importante cum sînt bacteriile sau virusurile filtrante, dă o difuziune suplimentară a electronilor. In afară de aceasta, datorită direcţiei foarte înclinate pe care o au atomii de metal în mişcarea lor, dimensiunea "umbre" poate fi considerabil mai mare decît dimensiunea particulei care aruncă umbra.



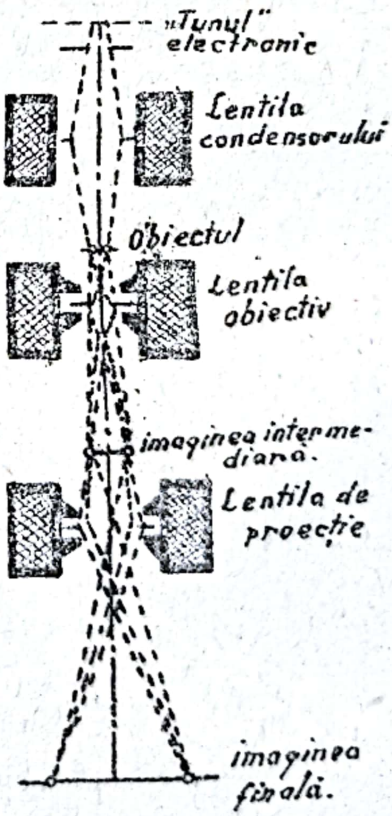
- Razele ajung apoi în lentila obiectiv.Aceasta formează la o distanţă oarecare,prima imagină electronică sau imaginea intermediară, imagine ce este mărită de cca.100 ori. Ea se poate observa cu

ajutorul unui ecran fluorescent intermediar ce se observă prin mici fierăstruici speciale de sticlă ce se practică în tubul metalic al microscopului.

- Două lentile electronice suprapuse formează lentila de proiecţie. Ele avînd focare diferite, au rolul de a da o imagine mărită şi îndepărtată, întocmai ca la microscopul obişnuit unde imaginea intermediară dată de obiectiv şi lentila colimatoare a ocularului este mărită şi îndepărtată la distanţa vederii distincte. Si această lentilă este prevăzută cu o diafragmă de apertură. Ea dă o a doua imagină mărită a obiectului, sau mai bine zis a acelei porţiuni care s-a format în faţa deschizăturii din ecranul intermediar.

- Imaginea dată de această lentilă, se proiectează pe un ecran fluorescent format dintr-un strat de mineral numit willemit ($ZnO + SiO_2$) sau sulfură de zinc, ce este situat la partea de jos a microscopului, unde se găsesc ferăstruici speciale de sticlă. Pe ecranul fluorescent, se observă imaginea finală. Această imagine poate fi observată şi mărită prin intermediul unui microscop optic ce se găseşte alăturat.

- Ecluza fotografică unde, printr-o simplă rotire a unui mîner, ecranul fluorescent se dă la o parte şi deschide drumul electronilor spre placa fotografică care se găseşte la partea cea mai de jos a aparatului. Aci mai este şi camera neagră (o casetă metalică în care se depun plăcile fotografice). Tot la partea inferioară se găseşte şi dispozitivul pentru reglarea vidului din interiorul microscopului.



- Un cumutator pentru a mări imaginea sau de 1000 de ori ca microscoapele obişnuite, sau de zece mii de ori, care face să se transpuie tensiunea catodică pe electrodul mijlociu a uneia sau al celeilalte lentile de proiecţie.

Ca tehnică de lucru ar fi de precizat următoarele. Cînd vrem să mărim de 10 mii de ori pentru a studia detaliile care ne interesează, căpătăm o imagine foarte netă, pe care putem s-o fotografiem mărind-o astfel de încă 10 ori, aşa că pînă la urmă putem căpăta o imagine netă şi mărită de 100 de mii de ori. Tensiunea înaltă care accelerează electronii în tunul electronic, trebuie să rămîie riguros constantă căci cea mai mică schimbare a vitezei electronilor atrage după sine schimbarea refracţiei lor în lentile, ceea ce duce la pierderea clarităţii şi în consecinţă la pierderea puterii rezolvante. Pentru a opri perturbaţiile exterioare, pereţii microscopului se fac groşi. In schimb pentru perturbaţiile datorite diferitelor cîmpuri magnetice exterioare, a transformatorilor, a motoarelor, etc., acest lucru nu este suficient. Deaceea în interiorul coloanei sînt nişte tuburi speciale făcute dintr-un material magnetic puternic numit "permalloy". O altă perturbaţie este zguduirea uşoară şi invizibilă a microscopului. Deaceea se construieşte masiv şi se instalează pe un fundament special.

Microscoapele electronice au şi ele o limită de vizibilitate datorită pe de o parte naturii ondulatorii a electronilor, iar pe de altă parte imperfecţiunii lentilelor electronice. Din fericire, primul neajuns este aproape depăşit căci lungimea undelor electronice depinde de viteza lor, ori la tensiunile de 50-100.000 v., lungimea de undă este de 100.000 de ori mai mică decît cea a luminii albastre. Cel de al doilea deziderat, imperfecţiunea lentilelor, este încă de nedepăşit. Sperăm că tehnica modernă va învinge şi această piedică din calea progresului.

Din aceste cîteva înşiruiri de fapte se poate trage concluzia că deşi se poate obţine o putere de rezoluţie de 100.000 de ori mai mare decît a microscoapelor optice, putere de rezoluţie care ar fi cu mult mai mare decît dimensiunile atomice (sub 1 A), practic însă, din cauza aberaţiilor lentilelor, puterea de rezoluţie se limitează la cca. 10-22 A. La fel, din cauza imperfecţiunii metodelor de cercetare, microscopul electronic nu poate fi folosit deocamdată în medicină decît în cercetările de histologie şi anatomie patologică.

Totuşi datorită calităţilor sale, cum era şi normal, el şi-a găsit un larg răsunet în cercetări-

le biologice. Cercetările întreprinse cu microscop electronic se pot împărţi în următoarele grupe :

1.In morfologia celulară şi moleculară s-au cercetat proteinele globulare (hemocianina) si proteinele fibroase (miozina, colagenul, etc.), unele polizaharide (glicogenul), complexurile polizaharide - protide şi lipide -protide, reacţiile enzimatice asupra moleculelor, reacţiile inter-macromoleculare (r.între antigeni şi anticorpi), etc.

S-au elaborat tehnici ce permit păstrarea în secţiuni subţiri a structurei şi configuraţiei topogxafice normale a diverşilor constituienţi celulari (nucleul şi citoplasma). Pe de altă parte,rezultatele acestor cercetări sînt susceptibile de a lămuri chestiunea fundamentală a relaţiilor dintre moleculele mari, virusurilor, a agenţilor cancerigeni şi după teoriile apusenilor, a genilor.

2.In morfologia şi reacţiile virusurilor patologice s-au pus în evidenţă unele virusuri a căror prezenţă înainte era numai bănuită :

- la plante (mozaicul tutunului);
- la animale (richeţile, v.vaccinei,v.influenţei, v.poliomielitei, v.ourlian, v.variolei şi al stomatitei aftoasă).

Deasemeni s-au pus în evidenţă şi bacteriofagii, cercetîndu-se structura lor, virulenţa lor şi interacţiunile dintre ei şi celulele infectate.

3.La morfologia şi reacţiile bacteriilor,s-au cercetat : b.Koch,b.difteric, stafilococul.b.coli.

4.Microstructura celulară şi tisulară. S-au observat celule normale (muşchi,nervi) şi celule maligne, la care, un lucru extrem de important de reţinut este faptul că la unele neoplasme (neoplasmul mamar) s-au găsit corpusculi necunoscuţi care ar fi agentul cancerigen specific (Porter). De aici se trage concluzia că cel puţin în unele tumori maligne, etiologia-ar fi un microb (un ultravirus.).

Cercetările fragmentare care s-au efectuat pînă acum sînt datorite slabei puteri de pătrundere a electronilor, a contrastului insuficient al materialului biologic şi a necesităţii plasării lamei în vid. Dintre aceste trei cauze de defecţiuni,ultimul obstacol este cel mai greu de învins, căci din cauza desicaţiei ce se produce în vid, apar artefacte ce denaturează rezultatele. De aci rezultă că pentru microscopul electronic viitorul trebuie să aducă perfecţionări în tehnica care să pro-

- unde mecanice sau [illegible] de Gol[illegible]
- unde electromag[illegible]
[illegible] mai există [illegible]nd acesta este la peretel[illegible] sub forma unui fascic[illegible]lată o întraşu-brun. Ele sînt dîre corpusculare pozitivoaţia, fost numite raze canal, deoarece trec prin canalei catodului.

Proprietăţi

1) Produc şi ele fluorescenţa unor corpuri.
2) Sînt invizibile prin ele însăşi.
3) Sînt deviate de un cîmp magnetic sau electrostatic şi anume mai slab şi în sens invers razelor catodice. Au însă o acţiune mult mai slabă.
4) Sînt puternic absorbite de gaze şi alte corpuri.
5) Ionizează gazele prin care trec.
6) Viteza lor este variabilă după fiecare speţă de gaz ce s-ar găsi în tub (cca.10^7 -10^8 cm/sec.).

S-a dovedit în mod indubitabil că particolele transportate de aceste raze pozitive sînt ionii pozitivi ai gazului care se găseşte în tub şi într-un număr mic de particule din electrozi. Masa lor fiind foarte mare în comparaţie cu cea a electronilor, se explică dece au o viteză mică faţă de cea a electronilor (cam de 1000 de ori mai mică).

Aplicaţii

Spectrograful de masă (Aston) : corpusculii pozitivi ce alcătuiesc aceste raze, sînt deviaţi

să fie deviate în sens contrar faţă de deviaţia produsă de E. Intensitatea (H) este astfel aleasă încît particolele de aceeaşi masă se localizează în acelaşi punct pe o placă fotografică (P'-P"). Dacă fascicolul este format din particole de mase diferite, toate particolele de aceeaşi masă se vor localiza în punctele P', P", etc., înaît aparatul este o adevărată balanţă atomică.

Spectrograful este un aparat foarte preţios deoarece cu ajutorul lui s-au pus în evidenţă izotopii.

OSCILAŢII ŞI UNDE. GAMA RADIAŢIILOR

Am văzut pînă acuma electronul în două momente:
- în repaus (electricitatea statică);
- în mişcare (electricitatea dinamică).

De cel de al treilea moment : electronul în vibraţie, ne vom ocupa mai jos.

Orice corp fie că este mecanic sau electric, dacă se deplasează periodic în jurul unei poziţii de echilibru dă naştere la oscilaţii.

Oscilaţiile produc în jurul lor perturbaţii care se numesc unde şi care se propagă cu o viteză ce depinde de natura mediului. Undele nu sînt niciodată singure ci sub formă de tren de unde; căci se succed unele după altele întocmai unui tren. Motivul este uşor de înţeles : o oscilaţie nu se poate opri brusc, căci atunci ar fi o simplă deformaţie şi nu o oscilaţie. Ea nu se poate opri decît amortizîndu-se. Deocamdată se cunosc numai două feluri de unde şi anume :

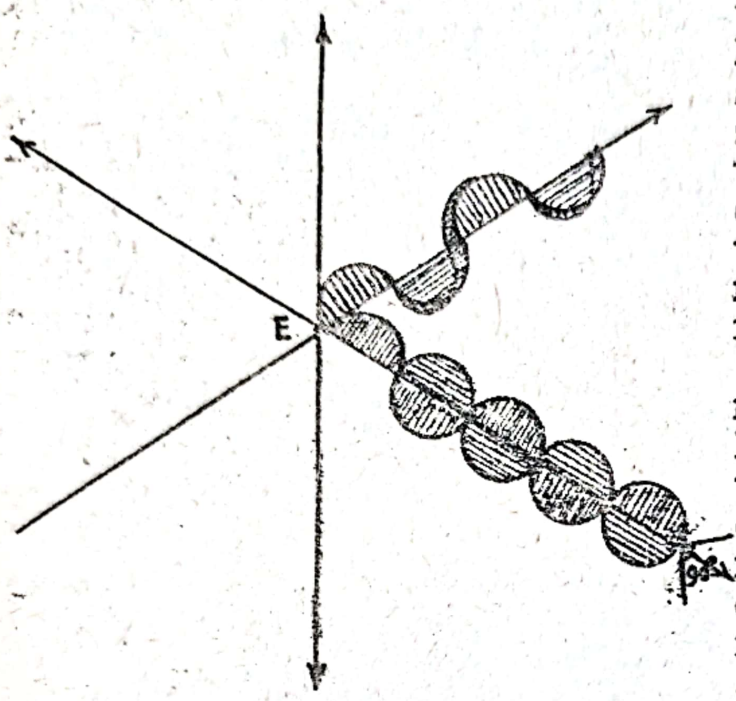
- unde mecanice sau elastice;
- unde electromagnetice.

Să mai există vre-un fel de unde? Iată o întrebare care rămîne deschisă. Fapt este că telepatia, admisă astăzi de foarte multă lume, nu găseşte nici o explicaţie. Singurele unde cunoscute care se propagă la distanţe mai mari (undele radioelectrice) nu au după cît s-a putut constata pînă în prezent, nici o acţiune asupra organismului şi nici nu s-a putut dovedi în mod cert că organismul nostru poate emite astfel de unde, căci marea sensibilitate a aparatelor moderne ne-ar permite să constatăm cu uşurinţă cele mai slabe emisiuni radioelectrice pe care le-ar produce corpul omenesc. Fenomenele vitale sînt atît de puţin cunoscute, încît este posibil să existe şi o a treia categorie de unde, altele decît cele enunţate mai sus şi pe care le putem numi vitale. Prin fenomenul Gurwitsch se ştie că celulele pe cale de mitoză emit radiaţii electromagnetice cuprinse în spectrul ultraviolet (1900-2500 A) numite radiaţii biogenetice.

În cele de mai jos ne interesează numai undele sau radiaţiile electromagnetice ce sînt datorite perturbaţiilor electronului, perturbaţii ce se transmit pînă la noi. Radiaţia este una din formele materiei ca şi cîmpul electric legat de sarcina electrică sau cîmpul magnetic. Fiecare radiaţie electromagnetică este formată dintr-un flux de particole elemen-

tare -fotoni - ce se propagă ondulatoriu.

De Broglie a arătat că electronul în mişcare duce cu sine un tren de unde a căror frecvenţă nu atîrnă decît de viteza electronului. De obicei trenurile de unde ale electronilor se anulează reciproc; sînt însă cazuri cînd condiţiile normale intraatomice sînt perturbate. Atunci undele se avîntă în toate direcţiile propagîndu-se în spaţiu prin nimic. Fizica veche avea nevoie de un suport — eterul cu 4 proprietăţi :fără greutate, nevăzut, elastic şi fix.



Stim că electronul în mişcare are cele două cîmpuri :electric şi magnetic. Mişcarea electronului fiind mereu variată, orice electron emite fără încetare unde de-a lungul liniilor sale de forţă electrice şi magnetice. Orice corp pînă la temperatura de 0 absolut vibrează, deci emite unde.

In cazul că însuşi electronul rătăceşte cu trenurile sale de unde prin spaţiile interplanetare, se capătă aşa zisele unde sau radiaţii corpusculare (materiale). Cînd ajung pînă la noi numai undele, avem undele electromagnetice ce nu sînt materiale, dar cu origine materială.

Deoarece procesele biologice produse de diferitele radiaţii electromagnetice sînt o urmare a acţiunilor lor fizico-chimice dela nivelul celulelor de care sînt absorbite şi deoarece aceste proprietăţi atîrnă de lungimile de undă a radiaţiilor corespunzătoare, vom studia aceste radiaţii în ceeace priveşte acţiunea lor biologică, în ordinea lungimilor de undă.

Studiul undelor e.m. este cuprins astfel, începînd dela lungimile mari de undă, la cele mici :

1) Undele hertiene (în care intră : undele r.,r.r radiofonice, hertiene, scurte şi electrice minime)

2) Undele infraroşii.
3) Undele vizibile.
4) Razele ultraviolete.
5) Razele roentgen.
6) Razele gama.
7) Razele cosmice.

Undele herţiene

Au o lungime de undă cuprinsă între cîţiva km. şi 2 mm.

Surse. Curenţii de înaltă frecvemţă am văzut că se produc prin descărcări oscilante de condensatori (fenomen descoperit de W.Thomson în 1853).Aceşti curenţi se propagă numai prin circuite închise.Cînd trebuie să se propage printr-un circuit deschis(aer), ele se transformă în radiaţii electromagnetice de o mare lungime de undă numite unde herţiene. Deci acesteadin urmă nu sînt altceva decît oscilaţii electrice de mare frecvenţă, propagate prin aer.

Proprietăţi fizico-chimice. Undele herţiene au aceleaşi proprietăţi ca şi curenţii de înaltă frecvenţă. Au fost prevăzute teoretic de Maxwell prin teoria electromagnetică a luminii (1862-1873) şi puse în evidenţă de H.Hertz (1888) cu ajutorul unui fir de cupru îndoit în formă de cerc şi lăsînd între capete care se terminau cu cîte o mică sferă, un mic spaţiu. Dispozitivul poartă numele de rezonator. Explorînd cu el spaţiul din jurul sîrmelor lui Lecher în care se formau curenţi de I.F., a văzut că între sfere ţîşneau scîntei. Deci oscilaţiile din oscilator acţioneau la distanţă prin aer şi chiar prin vid, provocînd oscilaţii electrice în rezonator.

Acţiunea de inducţie e.m. a acestor unde ca şi a curenţilor de I.F.de altfel, este foarte mare. Ea se resimte în orice conductor din apropiere : aerul devine luminos ca şi bobina secundară, ceea ce arată cît de mare este cîmpul electromagnetic oscilant, căci ca să se lumineze aerul, trebuiese căderi de potenţial de cca.30.000 v./cm. Din orice obiect metalic izolat sau pus în legătură cu pămîntul, ies scîntei electrice. Un tub Geissler chiar fără electrozi metalici, se iluminează.

Consideraţiuni biologice şi aplicaţii în medicină. Deşi aceste unde se propagă în tot spaţiul din jur, ele nu au nici o acţiune biologică dela

lungimi de undă mari pînă la 10 m. Dela această lungime în jos, persoanele care stau mult timp în vecinătatea lor simt o serie întreagă de senzaţii ca : tracţiuni în frunte şi pielea capului, dureri de cap, oboseală, nelinişte, excitabilitate. Aceste tulburări sînt pasagere şi nu au nici un substrat organic. Dela o lungime de undă de 3 m.,fenomenele sînt foarte evidente.

Undele herţiene oprite în ţesuturi nu sînt capabile de a produce ionizări, dar ele pot deplasa ionii preexistenţi acolo,precum şi electronii liberi. Pot acumula astfel ionii pe membranele celulare.Pot influenţa însă starea coloidală a substanţei organice. Dela ele nu se pot aştepta la acţiuni chimice decît într-o măsură foarte mică. In felul acesta acţionează ca nişte curenţi electrici producînd căldură în ţesuturile traversate. Căldura mai mare care apare în oase se explică prin faptul că organismul uman este alcătuit din dipoli. Aceştia sub acţiunea undelor herţiene caută să se îndrepte în sensul curentului, deci se vor roti. Cum mişcările se fac mult mai greu în organe mai dense cum sînt oasele şi căldura rezultată va fi mai mare.

Undele herţiene au următoarele efecte :

-Asupra stării generale : prin ridicarea temperaturii centrale şi printr-o sudaţie abundentă cu accentuarea fenomenelor respiratorii.

-Asupra circulaţiei : prin vasodilataţie periferică remarcabilă, creşte amplitudinea pulsului.La început se notează o creştere a tensiunii arteriale, iar spre sfîrşit, din cauza acţiunii vasodilatatoare, o scădere a ei.

-Asupra sîngelui : produce o creştere a hemoglobinei, a hematiilor şi a monomuclearelor mari şi o scădere a polinuclearelor.

-Asupra respiraţiei : întîi o exagerare,apoi o încetinire a ei cu diminuarea oxigenului absorbit şi a acidului carbonic eliminat.

-Asupra secreţiei urinare : o creştere a diurezei cu eliminare mai abundentă de uree, acid uric, azot total, creşterea raportului azoturic şi a eliminării de sulfaţi, fosfaţi, cloruri şi exagerarea toxicităţii urinare.

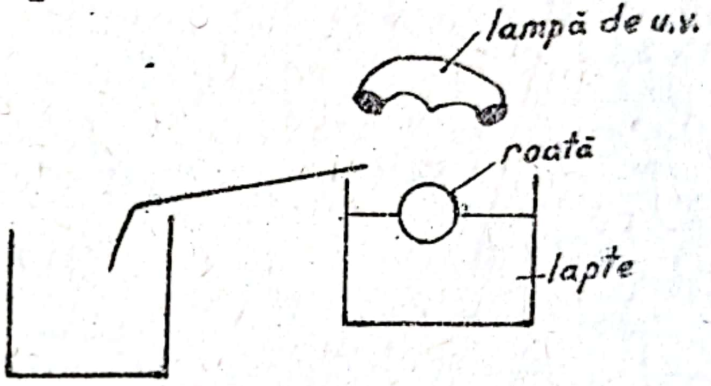
-Asupra glandelor cu secreţie internă :se produce o acţiune excitatoare ce determină o exagerare în nutriţia lor (în special asupra ovarelor şi tiroidei).

-Au acţiune asupra microbilor şi microorganismelor, omorîndu-le (acţiune bactericidă), căci lungimile de undă mai mari de 3000 A sînt absorbite de o pătură proteplasmatică foarte subţire şi de aceea microbii şi organismele mici sînt repede ucise, uneori chiar dacă sînt sub formă de spori. Radiaţia dispersată slăbeşte vitalitatea multor microorganisme patogene, oprindu-le creşterea şi înmulţirea.

Ca aplicaţii a acestei acţiuni, avem :

a) sterilizarea apei de băut. Aceasta se face numai dacă apa este foarte bine filtrată, căci particulele în suspensie opresc r.u.v. Lampa acţionează cam pe o distanţă cu o rază de 30 m.

b) sterilizarea laptelui trebuie făcută într-un strat foarte subţire. In dispozitivul alăturat, laptele este antrenat în peliculă foarte subţire, pe nişte cilindrii ce se învîrtesc în faţa unei lămpi de u.v., fiind supus astfel în toate părţile acţiunii razelor.



c) se utilizează şi în vindecarea unor boli, mai ales de piele şi în special pentru grăbirea procesului de cicatrizare a rănilor.

- Au acţiune asupra tegumentelor producînd într-o primă fază eritemul actinic ce este însoţit de prurit şi o senzaţie de arsură (uneori vezicule, exudaţie, edem (acţiune eritematoasă). Acest efect apare după 6-12 ore şi durează 24-48 ore, prin transformarea probabilă a histidinei în histamină şi după care urmează pigmentarea tegumentelor. Această ordine nu este totuşi păstrată în totdeauna.

Acţiunea de bronzare este o intensificare a formării pigmentului în celulele stratului bazal al epidermului. Pigmentul este o substanţă din grupa melaninei ce conţine o cantitate mare de sulf. Formarea pigmentului care se pare că este o reacţie de apărare a organismului contra pătrunderii mai departe a acestor radiaţii, este în legătură cu descompunerea produselor metabolismului proteinelor care circulă în sînge.

Acţiunea biologică generală a radiaţiilor solare nu depinde în mod direct de pigmentaţia pie-

lei. De aci rezultă că nu este neapărat nevoie să ne străduim să ne bronzăm.

Acţionînd asupra tegumentelor, razele cu o lungime de undă sub 220 m/μ sînt absorbite aproape în totalitate de stratul cornos; razele cu o lungime de undă între 220-330 m/μ sînt absorbite de straturile mai profunde (stratul malpighian şi cutisul propriu zis); iar cele cu lungime mare, împreună cu razele vizibile pătrund pînă în capilare şi sînt absorbite de sînge. Conform concepţiilor actuale, întreg diapazonul de r.u.v. dela 220 m/μ şi pînă la spectrul vizibil (ba chiar şi o parte din acesta din urmă), poate acţiona asupra tegumentelor. Există însă valori maxime ale acestor acţiuni în funcţie de lungimea de undă. Astfel, acţiunea cea mai puternică o exercită razele cu o lungime de undă de 297-298 şi 250 m/μ . De ex. acţiunea eritematoasă a razelor cu o lungime de undă de 297 m/μ este de cel puţin 1000 de ori mai mare decît a regiunii cu lungimea de undă de 366 m/μ .

Pericolul maxim îl prezintă arcurile voltaice unghiulare şi lămpile de cuarţ şi mercur în spectrul cărora intensitatea radiaţiei eritenogene poate ajunge la 5 calorii mici pe cm^2 într-un minut, eritemul putînd să apară după 20-185 sec.

La acţiunea razelor cu o lungime de undă mai mare şi de intensitate considerabilă, eritemul apare după o perioadă latentă de 6-8 ore, se menţine 24-30 ore şi dispare treptat, lăsînd o pigmentare destul de persistentă. Dacă prevalează razele cu o lungime de undă mică (munca pe lîngă lămpile de cuarţ , la sudura electrică), eritemul apare şi dispare mai repede, este mai dureros şi nu lasă aproape nici o urmă pigmentară.

- Au acţiune asupra sîngelui, nervilor şi glandelor; creşte hemoglobina cu 8%. Creşte calciul şi fosforul la cei care au aceste substanţe în deficit; pentru persoanele care au în limite normale aceşti constituienţi, nu le influenţează. Scade glucoza. Tirozina la început creşte pînă apare pigmentarea, ca apoi să scadă brusc sub valoarea normală.

- Ajută la nutriţie prin alimentele iradiate.

- Au acţiune nocivă asupra ochilor (în primul rînd acelea cu o lungime de undă mai mică de 320 m/μ) şi anume asupra segmentului anterior, în special asupra corneei, producînd kerato-conjuncti-

vita care de altfel, este benignă. Pot leza conjunctiva şi uneori irisul şi retina.

Cea mai caracteristică leziune a ochiului întîlnită în profesiunile în care apar astfel de radiaţii (sudori şi operatori de cinematograf) este fotooftalmia (electrooftalmia) : după 2-6 ore dela acţiunea razelor apar dureri atroce, junghiuri şi senzaţii de nisip în ochi, cefalee, fotopsie, vederea devine neclară. Simptome obiective : edemul şi înroşirea pleoapelor, hiperemia şi inflamarea conjunctivei, blefarospasmul, fotofobie, lăcrimare. Uneori se observă o secreţie muco-purulentă, diminuarea sensibilităţii corneei transparente şi tulburarea retinei, reducerea concentrică a cîmpului vizual. Perioada acută a bolei durează 1-6 zile. La cei ce muncesc în aer liber, fotooftalmia decurge uneori sub forma "catarului de primăvară" şi a "orbire de zăpadă".

In general asupra ochilor, aceste raze au acţiune antagonistă razelor roşii şi infraroşii.

- In urma difuzării pe cale umorală a produselor de descompunere celulară, cît şi a acţiunii r.u.v. asupra sistemului nervos central, pot apare unele sindrome de intoxicaţie generală (cefalee, ameţeli, hipertermie, o stare generală proastă, creşterea surmenajului, stare de excitaţie nervoasă, etc). Se crede că factorul determinant al acestor fotodermite ar fi acţiunea r.u.v. asupra vaselor capilare a pielei.

Indicaţii: Tonice, eutrofice, regulatoare ale metabolismului. Se recomandă în special în rahiţism, afecţiune datorită adesea pe lîngă carenţei de calciu şi fosfor şi uneia de lumină. Se mai recomandă în : spasmofilie, tetanie, tulburări de nutriţie, anemii, infecţii t.b.c., dermatoze, boli ale părului. .....

Aplicaţii terapeutice. Aplicarea r.u.v. în medicină poartă numele de actino-terapie şi ea se face în două moduri : băi generale şi aplicaţii locale.

Băile generale sînt mai frecvente. Pacientul este complet desbrăcat, căci aceste raze fiind uşor absorbite, sînt oprite de orice vesmînt oricît ar fi de subţire, este acoperit la ochi cu ochelari cu sticlă de esculină sau sticlă fumurie-sticlă Fleusal. Se prescriu 2-3 şedinţe săptămînal, cu un total de 12-15 şedinţe.

Cînd nu avem la îndemînă o sursă de r.u.v. se pot da per os medicamente care conţin vit.D.Dintre acestea cele mai importante sînt uleiul de ficat de morun şi Vigantolul. Dacă uleiul de morun nu poate fi tolerat, se prescrie ergosterina iradiată în sol.uleioasă, din care 1 mg.= 1 litru ulei de ficat de morun. Si alte substanţe pot căpăta proprietăţi antirahitice prin iradieri cu r.u.v.: uleiul de măsline şi fl.soarelui, făina de grîu, laptele proaspăt şi în pulbere, drojdia de bere,etc. Toate acţionează la fel, prin fixarea calciului. Dacă însă se administrează mult timp, pot produce accidente toxice şi leziuni arteriale importante. După experienţele întreprinse, se pare că substanţele iradiate conţin pe lîngă vit.D antirahitică netoxică şi substanţe toxice ca : tachysterina, în caz de iradieri insuficiente şi toxisterina, în urma radierilor excesive. Uleiul de ficat de peşte nu conţine aceste substanţe toxice, deaceea substanţele iradiate sînt riguros controlate.

Accidente. Se pot produce reacţii eritematoase violente ce trebuiesc evitate, mai ales în baia generală de r.u.v., căci dacă sînt întinse pe o suprafaţă mare corporală, prezintă aceeaşi gravitate ca şi arsurile întinse. Am văzut că pot produce şi leziuni ale globilor oculari.

Razele röentgen (W. Röentgen 1895)

Au o lungime de undă cuprinsă între 500 Å şi 0,06 Å.

In decembrie 1895, fizicianul Wilhelm Conrad Röentgen,studiind proprietăţile razelorcatodice,a observat că un fragment de platino-cianură de bariu ce se găsea întîmplător în apropiere, începu să se lumineze (se devie fluorescent). Cum nu putea fi vorba de r.catodice ce nu puteau străbate pereţii de sticlă ai tubului, Röentgen a înţeles că este vorba de o nouă speţă de raze, pe care necunoscîndule le-a numit raze X, dar care în onoarea lui astăzi se numesc raze röentgen.

Surse. Aceste raze provin din razele catodice şi anume, atunci cînd electronii animaţi de mari viteze ce alcătuiesc razele catodice izbesc peretele de sticlă, energia lor se trausformă la punctul de izbire, parte în căldură, parte în energie luminoasă (fluorescenţa peretelui de sticlă) şi în fine o mică parte (1%), se transformă într-o nouă formă

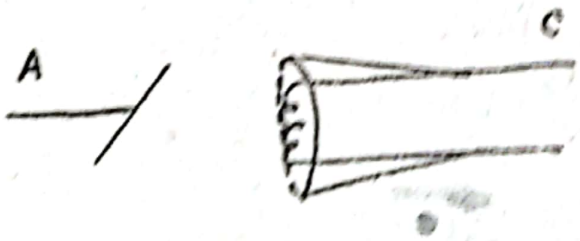
de energie radiantă, în raze röentgen. Astfel de raze se nasc ori de cîte ori un electron izbeşte un obstacol şi suferă o frînare bruscă. Deaceea în tuburile speciale ce derivă din tuburile Crookes, obstacolul de care trebuie să se lovească razele catodice ca să dea naştere la raze X, nu mai este peretele de sticlă, ci un bloc metalic greu fuzibil din platină sau tungsten, numit anticatod ce este pus în centrul tubului în faţa electronilor. Catodul datorită formei sale speciale şi concave, respinge electronii în aşa fel, încît îi concentrează pe o suprafaţă mică de 2-3 mm din centrul catodului, numită focus. Din focus pleacă raze X, născute la locul de izbire a electronilor şi se răspîndesc în toate direcţiile. Ca şi lumina traversează uşor pereţii de sticlă ai tubului manifestîndu-şi toate proprietăţile în afară de tub.

Tubul röentgen care este piesa cea mai importantă căci în ea iau naştere razele röentgen, a suferit în decursul vremurilor mai multe transformări.

Primul sistem a fost tubul cu gaz şi în care ...ul era de 0,001 mm Hg. Acest sistem a fost folo... pînă în 1914.

Dela această dată este folosit tubul moderna - tubul cu catodă incandescentă (Coolidge). In acest tub vidul este foarte înaintat (0,00001 mm.Hg) şi între electrozi este un potenţial de cca. 50.000 v.

Principiul de funcţionare este acela al fenomenului termoelectronic. Metalele cărora prin încălzire dau electroni în cantitate mare sînt doar tungstenul şi tantalul. Tubul este un balon de sticlă cu peretele gros de cca. 1 mm şi care are două tuburi la cele două extremităţi şi la care sînt sudate doi electrozi: catoda C - un fir de tungsten şi anoda A ce serveşte şi de anticatodă cu o placă de tungsten la 45° purtată pe o tijă de molibden. Distanţa dintre electrozi este de cca. 3 cm.



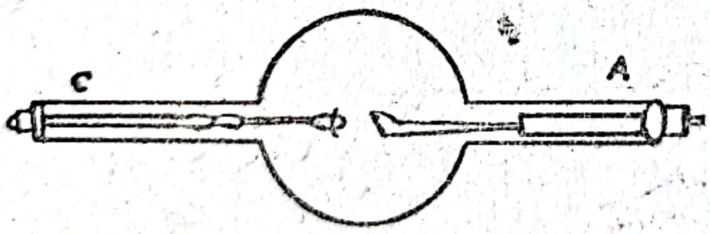
de energie radiantă, în raze röentgen . Astfel de raze se nasc ori de cîte ori un electron izbeşte un obstacol şi suferă o frănare bruscă. Deaceea în tuburile speciale ce derivă din tuburile Crookes, obstacolul de care trebuie să se lovească razele catodice ca să dea naştere la raze X, nu mai este peretele de sticlă, ci un bloc metalic greu fuzibil din platină sau tungsten, numit anticatod ce este pus în centrul tubului în faţa electronilor.Catodul datorită formei sale speciale şi concave, respinge electronii în aşa fel, încît îi concentrează pe o suprafaţă mică de 2-3 mm din centrul catodului, numită focus. Din focus pleacă raze X,născute la locul de izbire a electronilor şi se răspîndesc în toate direcţiile. Ca şi lumina traversează uşor pereţii de sticlă ai tubului manifestîndu-şi toate proprietăţile în afară de tub.

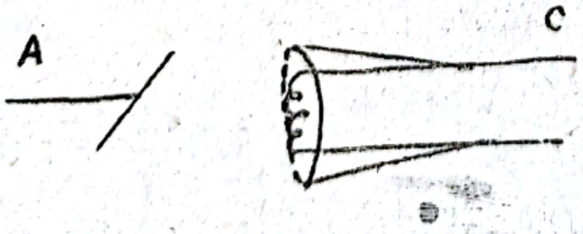
Tubul röentgen care este piesa cea mai importantă căci în ea iau naştere razele röentgen, a suferit în decursul vremurilor mai multe transformări.

Primul sistem a fost tubul cu gaz şi în care vidul era de 0,001 mm Hg. Acest sistem a fost folosit pînă în 1914.

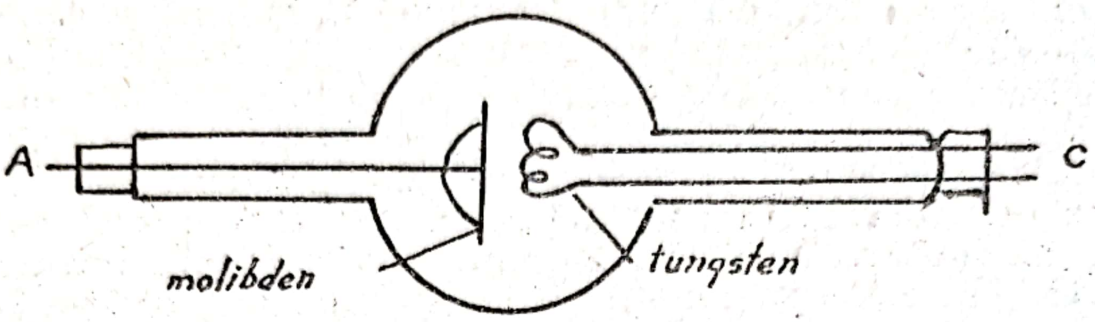
Dela această dată este folosit tubul modern - tubul cu catodă incandescentă (Coolidge). In acest tub vidul este foarte înaintat (0,00001 mm.Hg)şi între electrozi este un potenţial de cca.50.000 v.

Principiul de funcţionare este acela al fenomenului termoelectronic.Metalele cāre prin încălzire dau electroni în cantitate mare sînt doar tungstenul şi tantalul. Tubul este un balon de sticlă cu peretele gros de cca.1 mm şi care are două tuburi la cele două extremităţi şi la care sînt sudate doi electrozi :catoda C - un fir de tungsten şi anoda A ce serveşte şi de anticatodă cu o placă de tungsten la 45° purtată pe o tijă de molibden. Distanţa dintre electrozi este de cca.3 cm.



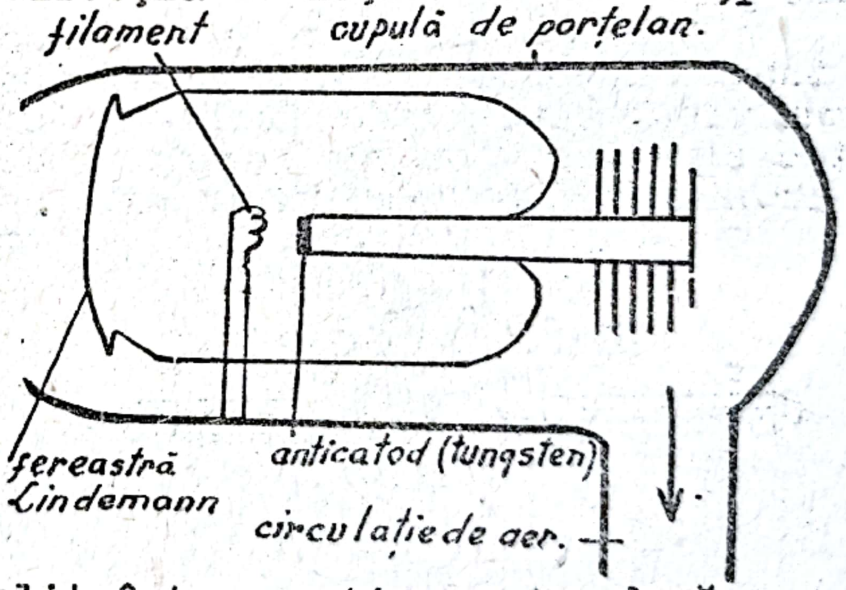


Catoda este adusă la incandescenţă printr-o baterie de cca.10 v.Potenţialul dintre A şi C este înalt, fiind dat de un curent alternativ adus la o tensiune mare cu ajutorul unui transformator şi redresat prin supape, kenotroane (lămpi diode).

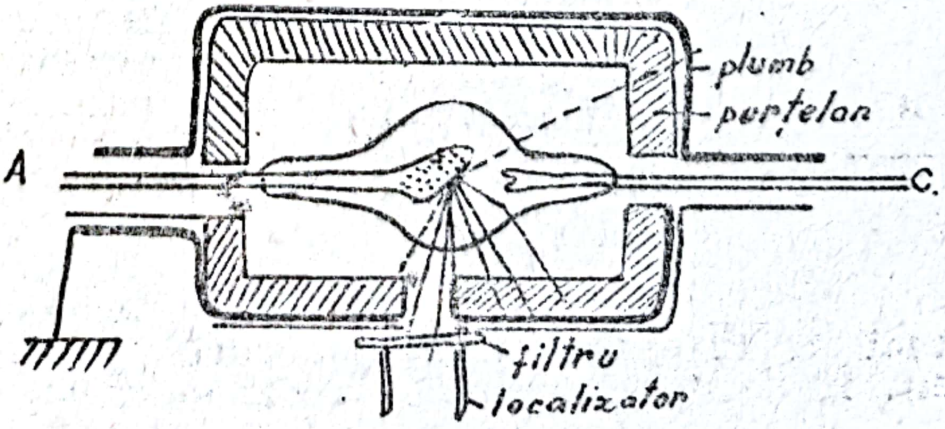


Un miliampermetru măsoară intensitatea curentului de descărcare prin tub. Potenţialul se măsoară fie printr-un voltmetru, fie prin distanţa explozivă dintre două vîrfuri ce sînt puse în contact cu electrozii.

Pentru producerea de raze X foarte moi,se foloseşte un tub puţin modificat, numit tubul cu fereastră (Lindemann). Pentru aceasta, în tubul obişnuit se înlocuieşte în direcţia de ieşire a razelor,peretele de sticlă printr-o fereastră făcută dintr-o sticlă specială ce conţine numai elemente de greutate atomică mică: borat de litiu,anhidridă borică şi glucină.(Sticla obişnuită sub 1 mm.grosime absoarbe razele X mai mari ca 0,7 A).



Tubul este învelit într-o cutie ce are două straturi, unul superficial de plumb şi unul intern de porţelan (sau ulei mineral la mărcile Bombix), ca izolator.



Cutia este numită şi cupulă de protecţie. Ea are în faţă o deschidere prin care ies razele röentgen, iar în faţă i se pune un filtru ce reţine razele moi (cu lungime mare de undă, dar cu putere foarte mică de pătrundere). Fascicolul de raze ieşit din filtru, poate fi mărit sau micşorat cu ajutorul localizatoarelor, ce dau deschiderea dorită a cutiei.

Proprietăţi fizico-chimice

- Se propagă în linie dreaptă cu aceeaşi viteză ca şi lumina.
- Intensitatea lor variază în raport invers proporţional cu pătratul distanţei.
- Sufăr fenomenul reflexiei mai ales difuză şi mai puţin cea regulată.
- Sufăr fenomenul refracţiei ce e foarte mic datorit micimei lor de undă cît şi datorită vitezei aproape egale de străbatere în toate mediile.
- Sînt polarizate chiar din momentul naşterii lor.
- Produc fluorescenţa unor corpuri (ClNa,ClBa, Mg,Li,sulfaţii de potasiu şi chinină, salicilatul de bariu , sărurile de uraniu); platinocianura de bariu sub acţiunea lor îşi schimbă culoarea din verde în galben şi apoi în brun. Deaceea această sare este folosită pentru a decela traiectul razelor X şi pentru a studia umbrele date de către corpurile ce absorb mai mult sau mai puţin aceste raze. Acesta este principiul radioscopiei.
- Au acţiuni chimice (de reducere : impresionează placa fotografică, de hidroliză :colesterina, grăsimi, amidon,etc).Fenomenul de reducere este folosit la executarea rediografiilor.
- Nu sînt deviate de un cîmp magnetic sau electrostatic, deci nu sînt încărcate cu electricitate.
- Descarcă corpurile electrizate (fenomen descoperit de romînul Hurmuzescu şi francezul Benoist-3/II-1896). Fenomenul se explică prin aceea că razele X ionizează gazul pe care-l traversează.Ionii de sens contrar fiind atraşi de corpul electrizat, sarcinile electrice se neutralizează.
- Străbat o serie întreagă de corpuri. Astfel sînt transparente corpurile ce conţin H,O,C, N. Nu trec însă prin metale şi oase, absorbţia lor fiind cu atît mai mare, cu cît corpul absorbant are o greutate moleculară mai mare. Deci absorbţia este o proprietate atomică.
- Au efecte fiziologice ce vor face studiul celor ce urmează.

Consideraţiuni biologice şi aplicaţii în medicină.

Efectele produse de aceste raze depind atît de doza radiaţiilor cît şi de natura celulei receptoare.

1). In ce priveşte doza, s-a căutat să se aplice regula după care, agenţii chimici au o acţiune stimulentă în doze mici şi una depresivă, în doze mari. Razele X ar trebui să aibă astfel o acţiune excitantă (în doze mici), o acţiune inhibitorie (în doze medii) şi o acţiune distructivă, necrozantă (în doze mari). In realitate, efectul excitant al dozelor mici nu a putut fi dovedit niciodată cu tot numărul mare de experienţe întreprinse. Totuşi se admite că o iradiere incompletă a unei tumori produce "un impuls" tumorii care creşte astfel mult mai repede, dar acest efect se poate explica altfel decît prin efectul stimulent al radiaţiilor. Celelalte două acţiuni ca şi intermediarele lor, sînt de regulă.

O doză se exprimă prin produsul dintre intensitatea radiaţiei şi durata de acţiune. S-ar putea crede că efectul va fi acelaşi dacă aceşti doi factori ar varia în mod invers. In radiobiologie lucrurile nu se petrec chiar aşa.

2). In ce priveşte natura celulară, s-a stabilit o lege după care razele X acţionează cu atît mai puternic cu cît activitatea reproducătoare a celulei este mai mare, cu cît sînt mai depărtate de termenul de diviziune (adică cu cît perioada şi evoluţia lor cariokinetică este mai lungă, deci cu cît celulele sînt mai îndelungat şi ereditar specializate în multiplicare. De ex. spermatogoniile şi ovogoniile care sînt în fruntea unei lungi descendenţe mitotice. La fel şi celulele canceroase), şi cu cît funcţiile lor sînt mai puţin fixate (de ex. limfocitul care nu este definitiv fixat morfologic, este foarte sensibil). După unii autori însă, această lege nu este exact valabilă decît dacă se compară celulele unui aceluiaşi animal, în acelaşi organ şi un singur ţesut. In tot cazul cu tot caracterul aproximativ şi cu toate excepţiile, legea are o mare utilitate practică pentru a preveni gradul de sensibilitate al unui fel oarecare de celule căci caracterul cel mai important din p.d.v. al sensibilităţii la razele X este activitatea mitotică a celulei, celula fiind cea mai sensibilă în momentul diviziunei celulare, aşa că efectul poate apare

BIBLIOTECA CENTRALA REGIONALA IAŞI

mai târziu când celula începe să intre în mitoză (moarte tardivă). Celula moare după ce a atins o talie monstruoasă sau se observă mitonecroza, adică moartea brutală a celulei prin citoliză, în momentul metafazei.

Insă mai sînt şi alţi factori care cresc această sensibilitate căci într-un ţesut se găsesc întotdeauna unele celule care prezintă acest stadiu de minimă rezistenţă şi care vor fi prin urmare distruse primele. Se înţelege astfel interesul de a etala doza pe o durată destul de lungă pentru ca toate celulele să poată trece prin acest maximum de radiosensibilitate în timpul iradierii.

Holthusen dă următoarea scară a sensibilităţii diverselor celule : 1)ţesut limfatic, măduva osoasă, timus.2) ovar 3)testicol 4)mucoase 5)glande salivare 6)bulb pilos 7)glande sudoripare şi sebacee 8) epiderm 9)seroase,plămîni 10)rinichi 11)glande suprarenale,ficat,pancreas 12)glanda tiroidă 13)muşchi 14)ţesut conjunctiv şi vase 15)ţesut cartilaginos 16)ţesut osos 17)celulele ganglionilor nervoşi 18)nervi.

Deci scara receptivităţii este :

- limfocite şi structuri limfatice;
- elemente din seria mielocitară;
- structuri epiteliale :gl.secretorii,gonade, piele, tract digestiv, alveole pulmonare,tubi renali;
- endotelii : vase sanguine, inimă;
- ţesut conjunctiv;
- celule musculare;
- celule osoase;
- sistem nervos central (din p.d.v.funcţional este cel mai bine diferenţiat).

Este de remarcat că sub anumite influenţe (de ex. inflamaţia) unele elemente capătă un stadiu embrionar şi prezintă simultan o creştere a radiosensibilităţii lor.

Alţi factori care joacă rol în radiosensibilitate sînt :

- Temperatura. Acţiunea razelor X creşte cu temperatura.
- Starea de turgescenţă a coloizilor celulari. Acţiunea razelor este mai puternică în caz de turgescenţă a coloizilor, fapt important căci ne explică de ce pielea edematiată este mai radiosensibilă. Acelaşi lucru se petrece şi în edemul inflamator.
- Intreruperea aprovizionării cu sînge cauzează o micşorare a radiosensibilităţii.

- Radiosensibilitatea creşte şi după tratamente helioterapice sau actinice,frecţii cu diverse medicamente iritante, în unele boli (Bazedow, sifilis, boli de nutriţie).

- Influenţa mediului biologic. Felul ţesutului în care se găsesc anumite celule radiosensibile are importanţă mare. Astfel, metastazele cutanate de tumori diferite sînt relativ uşor de distrus în timp ce aceeaşi tumoare imediat ce atacă cartilagiul este mult mai greu de combătut.

- Variaţii după regiune, vîrstă, sex. Regiunile bogate în glande sudoripare (palma, planta, axila) sînt mai radiosensibile. Mai sînt vulnerabile pielea gîtului şi a abdomenului; dimpotrivă regiunea dorsală şi lombară sînt rezistente.Este mai sensibilă pielea copilului decît a adultului şi a femeii decît a bărbatului.

-Influenţa factorului spaţiu. Reacţia ţesuturilor faţă de o anumită cantitate de raze depinde şi de mărimea volumului iradiat: posibilitatea de refacere este cu atît mai incompletă, cu cît volumul iradiat a fost mai mare.

-Influenţa lungimii de undă. Lungimea de undă nu dă deosebiri în ce priveşte acţiunile biologice. Ea influenţează numai profunzimea de pătrundere.

-Influenţa factorului timp. Efectul aceleaşi doze scade proporţional cu prelungirea timpului de expunere. Faptul se datoreşte facultăţii pe care o au celulele de a-şi reveni aproape complet în urma unei doze mici. Factorul timp are o influenţă diferită faţă de ţesuturi diferite.

Un fapt interesant în radiobiologie care a rămas fără răspuns este acela că celule de acelaşi fel reacţionează foarte diferit ca intensitate,faţă de aceeaşi iradiere. Probabil că este vorba de cum au fost lovite celulele.

Efectele acestor raze sînt diferite în funcţie de speţa animală.

Fiinţele unicelulare (bacteriile) sînt relativ puţin radiosensibile. In vitro se ajunge destul de uşor de a se steriliza culturi microbiene. In schimb in vivo din cauză că radiosensibilitatea microbilor patogeni este mult inferioară celei a celulelor din corpul uman, este imposibil de a distruge pe cei dintîi cu respectarea vitalităţii ţesuturilor din jur.

La om leziunile radiologice prezintă o peri-

oadă de latenţă, adică chiar atunci cînd leziunea celulară apare curînd după iradiere, totuşi modificările macroscopice nu apar decît după un timp oarecare. Exemplul tipic îl găsim în alteraţiile cutanate. Se mai poate întîmpla să nu apară nici o modificare decelabilă microscopic pînă cînd, cu ocazia unei infecţii sau unei traumatism, să apară brusc o radionecroză.

Cînd doza incidentă este mare, toate elementele ţesutului iradiat mor. Se spune că s-a produs o acţiune cytocaustică difuză. La o doză mai slabă sînt distruse numai celulele mai sensibile : acţiune citoletală electivă. Acest din urmă efect este urmărit de cele mai multe ori pentru distrugerea ţesuturilor patologice.

Asupra organismului sănătos, razele röentgen produc următoarele efecte :

1) Leziuni cutanate ce se pot prezenta sub următoarele forme :

- radionecroza acută difuză ce se capătă în urma aplicării unei doze puternice de raze moi. Ea cuprinde toate elementele tegumentelor.
- radiodermita electivă sau radioepidermita apare după iradieri penetrante cînd razele nu distrug direct decît stratul celulelor generatoare din contact cu dermul. Ea apare după 12 zile cînd epidermul se desprinde. Repararea survine în 15-20 zile.

Dacă se acţionează cu doze mai mici se poate obţine un efect electiv : distrugerea bulbilor piloşi, fapt care duce la căderea temporară sau definitivă a părului, aceasta din urmă întovărăşindu-se de distrugerea glandelor cutanate.

- radiodermita cronică survine la radiologii ce lucrează mult timp cu raze de slabă intensitate şi se caracterizează prin hiperkeratoză şi sclerodermie, putînd duce la apariţia de ulcer şi chiar la cancerizare.

In afară de aceste manifestări, iradierea pielii provoacă o tulburare funcţională a circulaţiei cutanate ce dă naştere la fenomenul numit eritem. După eritem apare de obicei o pigmentare a pielei.

2) Acţiunea asupra mucoaselor şi seroaselor. Se produce principial la fel ca şi asupra pielei, cu deosebirea că reacţia la mucoase, numită radioepitelită, apare mai devreme (la 12 zile). Radioepitelita începe cu o roşeaţă difuză, apar apoi mici vezicule. După cîteva zile epiteliul cade. Fenomenul

trece rapid în 10-12 zile şi complet. Pot apărea şi tulburări de înghiţire şi răguşeală, edem al laringelui.

Radiosensibilitatea mucoasei intestinale se traduce prin scaune diareice, iar aplicaţiile rectale rău făcute pot da tenesme şi rectita cu scaune sanguinolente.

Pleura reacţionează cu îngroşări conjunctive scleroase. Peritoneul poate da aderenţe. Vezica urinară este puţin radiosensibilă. Totuşi se pot produce ulcere greu vindecabile.

3) Acţiunea asupra glandelor genitale. La testiculi, celemai radiosensibile şi singurele distruse de o doză moderată, sînt spermatogoniile. De aci urmează, după un timp, dispariţia temporară sau definitivă a spermatozoizilor şi deci sterilizarea individului. Sterilizarea poate apărea fără să se producă mai întîi leziuni cutanate la nivelul burselor.

Asupra ovarelor, razele X produc o distrugere a foliculilor mai evoluaţi, deci care sînt mai aproape de maturaţie.

Trebuie să mai adăugăm că fetusul în uter prezintă o mare sensibilitate la radiaţii, deci o femeie însărcinată nu poate face o radioterapie sau curieterapie.

4) Acţiunea asupra elementelor figurate din sînge. Elemenetele figurate ce se găsesc în sîngele circulant sînt puţin sensibile la razele X, în timp ce celulele mamă ce se găsesc în organele neoformatoare sînt foarte fragile. Distrugerea ce se produce sub acţiunea razelor X în organele limfoide şi măduva oaselor, sfîrşeşte prin a acţiona asupra compoziţiei sîngelui. Totuşi mai precoce este leucopenia decît anemia din cauză că hématiile se refac în sînge mult mai încet. Iradieri frecvente şi prelungite pot antrena o anemie pernicioasă aplastică mortală.

5) Razele röentgen, factor de mutaţie. Razele X pot produce nu numai malformaţii căci influenţează asupra dezvoltării embrionului, ci şi veritabile mutaţii. Acestea din urmă sînt cele mai adesea de un tip deja constatat în stare naturală, dar pot fi şi mutaţii noi. Pînă acum s-a crezut că razele cosmice ar fi cauza mutaţiilor considerate naturale. Radioterapia penetrantă poate fi astfel originea transformării speciilor.

Indicaţii

Razele rôentgen servesc în medicină atît pentru punerea diagnosticului (radiodiagnostic) cît şi ca mijloc foarte important de tratament (radioterapie).

Din cauza marei lor importanţe, să studiem pe rînd aceste două grupe de indicaţii.

Radiodiagnostic.

Sub acest nume se înţelege ansamblul procedeelor ce servesc la explorarea corpului uman cu ajutorul razelor X.

Procedeul se bazează pe următoarele fapte :

- marea pătrundere a razelor rôentgen;
- inegalitatea de absorbţie a acestor raze faţă de diverşii constituienţi ai organismului.

Această inegalitate de absorbţie ţine la rîndul ei, de două cauze principale :

a) Valoarea diferită a numărului atomic a elementelor din care sînt compuse diversele ţesuturi. Părţile moi sînt formate din atomi uşori :H,O,C,N în timp ce scheletul este format în plus şi de atomi cu un număr atomic ridicat cum ar fi fosforul şi calciul.

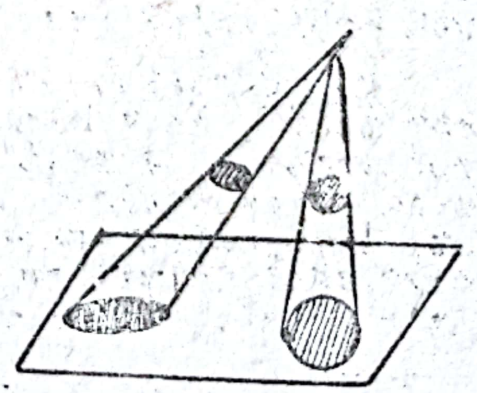
b) O inegală stare de condensare a atomilor în diversele ţesuturi. Astfel, organele ce conţin gaze vor fi mai permeabile decît cele care conţin lichide

Razele X fiind absorbite mai mult sau mai puţin în funcţie de diversele ţesuturi aşezate în traiectul lor, va rezulta producerea de umbre radiologice. Dar cum aceste raze nu impresionează retina,umbrele vor fi făcute vizibile fie prin fluorescenţa ce o comunică ecranului de platinocianură de bariu (explorare numită radioscopie), sau reducerea sărurilor de argint şi deci obţinerea de fotografii radiologice (procedeu numit radiografie).

În oricare din aceste două procedee trebuie să avem în minte următoarele :

- Imaginile sînt mărite în raport cu obiectul din cauză că razele diverg.

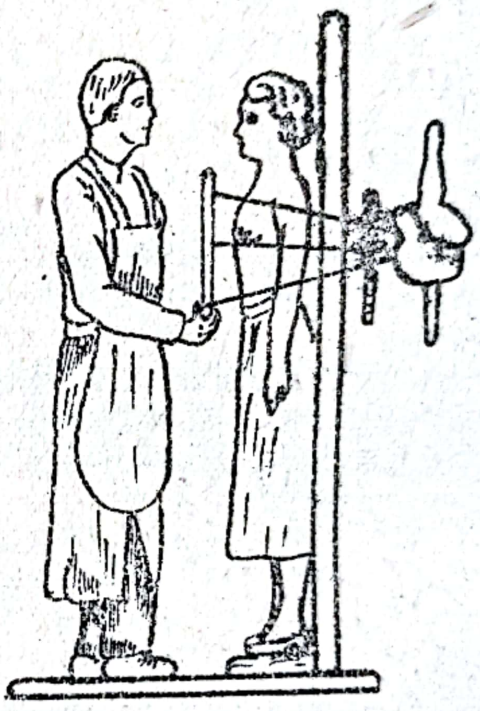
Mărirea va fi cu atît mai mică, cu cît obiectul este mai aproape de planul de proiecţie şi cu cît sursa este mai îndepărtată.Mărimea şi deformaţia imaginii mai depinde şi de forma şi poziţia obiectului în raport cu planul de proiecţie.



- Umbrele nu sînt percepute net din cauză că sursa nu este riguros punctiformă şi deci apare o penumbră.

- Umbrele sînt complexe din cauză că sînt formate din suprapoziţia umbrelor ce provin dela diverse organe, fapt ce poate fi o cauză de confuzie. Pentru a înlătura acest neajuns, individul trebuie examinat din diverse incidenţe.

Radioscopia. Se utilizează raze cu putere de pătrundere mică emise sub o diferenţă de potenţial de 50-100.000 v.şi cu intensităţi mici de curent (1,5-2 mA.). Deoarece ecranul fluorescent (de obicei de tungstat de calciu lipit pe carton) are o slabă fluorescenţă, adaptarea ochiului trebuie să dureze 20' fiind sensibilitatea ochiului la întunerie creşte de 60 de ori. Examinarea nu se va face deci înainte de acest timp de acomodare. Totuşi acomodarea la întunerie rămîne întotdeauna inferioară celei care este în plină zi.Din această cauză, la egalitate de finoţe a imaginilor, percepţia detaliilor va fi mai bună la radiografii.



Cînd vrem să avem valorile exacte ale dimensiunilor diverselor organe examinate radioscopic, se face ortodiagrama ce constă în desenarea cu un creion dermograf a reliefului organului respectiv pe ecranul fluorescent, imagine care se execută mobilizînd întîi sursa.

Radiografia. Se utilizează aceiaşi putere de pătrundere, în schimb intensitatea curentului întrebuinţat este mult mai mare. Timpul de expunere fotografică variază în funcţie de organul de examinat. În special pentru cord el trebuie să fie foarte scurt căci inimii nu i se poate suspenda funcţia fiziologică. Altfel poza iese mişcată.

Indiferent de tehnica utilizată, deoarece vizibilitatea unui obiect la razele X depinde de diferenţa de absorbţie, vor fi organe care sînt vizibile, adică cari absorb aceste radiaţii în cantitate mare şi organe care în mod normal sînt invizibile dar care prin anumite artificii pot fi făcute vizibile.

A) Părţile din corp vizibile fără artificii sînt : scheletul (în totalitatea sa), mediastinul (care conţine organe cu o transparenţă inegală),ficatul (din care se vede faţa superioară la baza pulmonului drept), rinichii (polul inferior),produse patologice cum ar fi revărsările lichide atunci cînd sînt într-un organ permeabil la razele X,calculii (unii din ei în funcţie de compoziţie),concreţiuni calcare, diverse tumori (cînd se găsesc într-un ţesut permeabil) şi corpii străini(dacă au o densitate mare).

B) Organe care nu sînt vizibile prin ele însăşi. Pentru a face vizibile la razele röentgen astfel de organe, se creează contrastul prin creşterea sau diminuarea absorbţiei diverselor regiuni ale organismului. De aici rezultă două mari tehnici: de umplere cu substanţe opace (creşterea absorbţiei) şi injecţii gazoase (diminuarea absorbţiei).

Tehnica umplerilor opace constă în introducerea în cavităţile naturale, de corpuri cu greutate atomică ridicată. Astfel se utilizează băuturile şi injecţiile opace.

Băuturile opace sînt de o întrebuinţare curentă în examenul tubului digestiv. Se utilizează de obicei sulfatul de bariu (Cifobariu) în proporţie de cca.100 g la 250 cc apă. Cu această substanţă se poate observa tot transzitul intestinal, iar pentru rect se poate utiliza aceeaşi substanţă sub formă de clismă.

Injecţiile opace sînt folosite la explorarea radiologică a unui mare număr de organe goale.Prima dată s-a utilizat uleiul iodat (lipiodolul) ca mijloc de investigaţie mai ales pentru coloana vertebrală şi canalul medular (Sicard şi Forestier).Introducerea de cîţiva cc de lipiodol în cavitatea epidurală între vertebrele D_1 şi D_5 este întrebuinţată pentru a repera sediul compresiunilor medulare. O injecţie într-o cantitate mai mică, dar

executată mai profund (spaţiul sub-arachnoidian) serveşte la precizarea localizării tumorilor medulare. Introdus în uter, dă forma şi dimensiunile acestei cavităţi şi în acelaşi timp ne arată permeabilitatea trompelor. Cu aceeaşi tehnică se poate explora şi aparatul genital mascul, mai ales veziculele seminale şi canalele deferente. In injecţii intratraheale, lipiodolul mergînd sub acţiunea gravităţii şi aspiraţiei toracice, opacifiază arborele bronşic şi dă imagini caracteristice în dilataţiile bronşice şi abcesele peribronşice.Mai serveşte la precizarea traiectului abceselor reci prin introducerea în orificiul extern al fistulelor.

Se mai foloseşte colargolul şi bromura de sodiu în soluţii pentru a se căpăta imaginea vezicei urinare. Tot aceste lichide sau lipiodolul introduse prin orificiul vezical al ureterelor,face să devină vizibile acestea şi bazinetele (pyelografia).

Se utilizează un amestec de miniu fin pulverizat,silicat de sodiu şi esenţă de terpentină pentru studiul traiectului vaselor sanguine. Mai recent se foloseşte o sol.concentrată de iodură de sodiu (pentru artere pe viu).

O nouă metodă de opacifiere a organelor este cea introdusă de Cole şi Graham care au arătat că diverse substanţe injectate în vase sau absorbite pe cale bucală, se elimină electiv prin unii emuncteri în care ating o concentraţie suficientă pentru a da o imagine radiologică. Se foloseşte astfel phenolphtaleina detraiodată pentru a face vizibilă vezicula biliară (colecistografia) şi o combinaţie de iod şi uree - uroselectanul - care se elimină prin rinichi şi cu ajutorul căreia se poate face pyelografia.

Injecţiile gazoase sînt foarte utilizate în radiodiagnostic, sub următoarele forme :

-Introducerea de gaz în cavităţile digestive. Se poate utiliza insuflaţia gastrică cu aer sau poţio Rivièri care însă nu e lipsită de pericol şi insuflaţia colonului.

- Insuflarea seroaselor permite realizarea de zone clare în jurul organului a cărui contururi sînt astfel mai precise. S-a utilizat pneumo-peritoneul (CO_2,O_2,aer). Actualmente se preferă metode mai puţin periculoase. Ventriculografia este un procedeu ce face perceptibili ventriculii cerebrali,

înlocuind o cantitate oarecare de L.C.R. printr-un volum echivalent de aer. Aerul se ridică pe axul celebro-spinal prin al III-lea şi al IV-lea ventricol, pînă la ventricolii laterali. Se ajunge astfel să se aprecieze dimensiunile şi sediul tumorilor cerebrale.

Pe lîngă procedeele simple de radioscopie şi radiografie, există o serie întreagă de manopere create pentru a uşura diagnosticul care totuşi de multe ori rămîne dificil de pus. Printre aceste tehnici citäm :

1. Stereoradiografia. Radiografia obişnuită nu ne dă indicaţii asupra profunzimii organelor a căror umbre se examinează. Pentru a şti dacă un obiect este înaintea sau în spatele altuia, nu ne putem baza decît pe dimensiunile imaginei şi pe gradul de claritate al conturului. Pentru a obţine vederea în relief ne bazăm pe principiul stereoscopiei : se iau două radiografii din două puncte diferite şi se privesc ambele grafii cu un singur ochi.

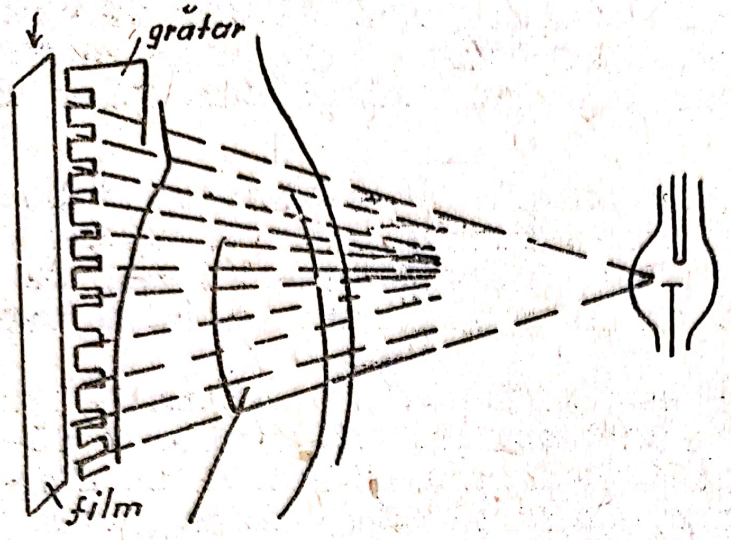
2. Stereoautografia constă în utilizarea unui cuplu stereografic pentru a reconstitui în mărime normală poziţiile respective ale unor puncte dintr-o secţiune perpendiculară sau oblică în raport cu planul de proiecţie. Acest procedeu ingenios utilizează şi un dispozitiv numit negatoscop stereoautografic cu ajutorul căruia se materializează prin schimbarea planului de secţiune, razele ce dau proiecţiile imaginei studiate şi se obiectivizează punctele de intersecţie. Se pot obţine rapid o infinitate de secţiuni plecînd dela un singur cuplu stereografic.

3. Serioscopia are ca principiu de a face să alunece unul pe altul două filme stereografice astfel că imaginile obiectelor conţinute în diferite planuri ale volumului explorat se acoperă succesiv. Pentru fiecare poziţie a filmelor, numai imaginile care coincid sînt văzute net, restul rămînînd şters. Se pot realiza astfel imagini a unei serii de secţiuni a organismului.

4. Radiografiile în serie. Examenul unor organe care se deformează rapid şi care din această cauză prezintă aspecte radiologice diferite şi fugitive (duodenul şi cordul), necesită luarea rapidă a mai multor clişee succesive.

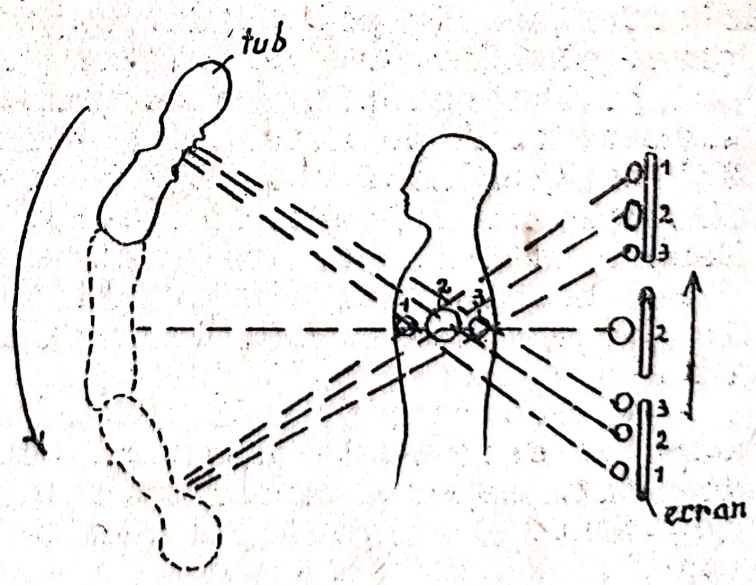
5. Kimografia. Este un procedeu de înregistrare radiologică a mişcărilor unor regiuni ale organismului. Aparatul numit kimograf, este un ecran opac

prevăzut cu şanţuri echidistante ce se aşează între subiect şi ecran. In timpul luării unui clişeu, ecranul se deplasează cu o mişcare uniformă şi perpendiculară fentelor după o lungime egală cu intervalul dintre două fente. Se obţine astfel o radiografie compusă din juxtapunerea unui număr oarecare de benzi paralele, dintre cari, fiecare reprezintă variaţia umbrei unei porţiuni mici din organul explorat.



6. Tomografia. Pe o radiografie obişnuită apar suprapuse umbrele tuturor straturilor străbătute de fasciculul de raze. De ex. pe o radiografie pulmonară cca. 50% din suprafaţa plămînilor este acoperită de coaste ceea ce îngreuiază în unele cazuri diagnosticul. Pentru a înlătura acest neajuns se foloseşte tomografia care menţine numai stratul dorit.

Principiul metodei se bazează pe eliminarea prin ştergere a straturilor care se află în afara nivelului punctului de sprijin în jurul căruia basculează tubul şi ecranul. In timpul radiografierii, tubul capătă o mişcare de basculare inversă casetei fotografice, încît raza centrală cade întotdeauna pe mijlocul casetei care are o mişcare verticală. Se aşează bolnavul în aşa fel ca stratul de



examinat ales să fie la nivelul axului de mişcare a complexului tub-cameră.

In felul acesta în orice poziţie s-ar găsi caseta în mişcarea ei, razele röentgen vor proiecta mereu aceleaşi puncte (ale stratului ales)care vor da imaginea pe film. Celelalte straturi aşezate înaintea sau înapoia stratului ales, vor da imagini mereu schimbătoare la fiecare nouă poziţie a ecranului şi din această cauză aceste imagini se vor şterge într-un conuşiu închis.

Deplasarea axului de basculă a complexului tub-ecran, se poate face uşor, aşa încît putem să aducem centrul basculei să coincidă cu orice plan al regiunii. Stratul ales are o grosime de cca.7-8mm. căci dacă este prea subţire nu este destul de absorbant ca să dea o imagine.

7. Microfotografia nu este altceva decît o radiografie dar care se face cu ajutorul unui dispozitiv de aparat de fotografiat pe un film tip Leika. După aceasta filmul se proiectează cu ajutorul unui aparat de proiecţie. Marele avantagiu al acestei metode constă în aceea că astfel se pot face radiografii cu un consum mic de film şi deci se pot face multe poze cu o cheltuială mică.

Radioterapia

Radioterapia utilizează două efecte şi anume:

-efectele citolitice folosite pentru distrugerea unor ţesuturi patologice radiosensibile, printr-o acţiune electivă;

-efectele modificatoare ce constă într-o putere inhibitoare sau rezolutivă ce se aplică în tratamentul stărilor inflamatorii sau a unor alteraţii funcţionale.

Radioterapia modificatoare. Sub această numire se înţeleg aplicaţiile ce au drept scop nu distrugerea unor elemente patologice ci modificarea stării funcţionale a organului bolnav. Această terapie zisă funcţională este aplicată în special în stările inflamatorii. Sînt justiciabile astfel aceste terapii: inflamaţiile cutanate (furuncule, antrax, limfangite, panariţiu), stomatologice (osteo-periostite, adenite), oto-rino-laringologie (amigdalite, sinuzite, abcese faringiene), afecţiuni ginecologice (anexite, pelvi-peritonite) cît şi inflamaţiile diverselor glande(paratiroide, tiroide, orchite, etc.).

Tensiunea aplicabilă tubului este moderată

(80-180 Kv.)în funcţie de profunzimea leziunii şi cu filtre mergînd dela 2 mm Al la 0,5 Cu. Dozele întotdeauna slabe, trebuie să fie invers proporţionale cu acuitatea infecţioasă.

Numărul şedinţelor variază după natura afecţiunii : de ex.pentru furuncule şi antrax o şedinţă este suficientă. In tot cazul trebuie să fie spaţii mari de timp între şedinţe pentru a se urmări efectul. Acţiunea acestor raze asupra procesului inflamator este încă necunoscut. Trebuie să mai remarcăm efectul razelor röentgen în afecţiuni nervoase (diverse algii), în unele tulburări neurovegetative şi endocrine.

Radioterapia cytolitică. Se bazează din p.d. v.biologic pe faptul că elementele patologice sînt sensibile inegal la distrugere faţă de celulele vecine normale, ce trebuiesc păstrate. Acesta este în special cazul cancerului care este cel mai indicat de a beneficia cu această terapie. Celulele canceroase sînt mult mai sensibile decît celulele normale aşa că dacă regiunea invadată de tumoare este supusă unei doze oarecare, vindecarea va fi cu atît mai uşoară cu cît diferenţa dintre radiosensibilitatea acestor două feluri de celule este mai mare. Din nenorocire diversele neoplasme sînt inegal radiosensibile, sensibilitatea depinzînd de următorii factori :

- tipul histologic. De ex. epiteliomele bazocelulare sînt mai uşor de distrus decît cele spinocelulare.

- activitatea kariokinetică a ţesutului canceros.

- starea ţesutului conjunctiv. Un ţesut conjunctiv sănătos ajută la vindecarea cancerului în timp ce o stromă laxă şi într-o stare proastă,va da un prognostic rezervat.

- infecţia ţesuturilor diminuă radiosensibilitatea ţesuturilor patologice slăbind rezistenţa celui sănătos.

- iradiaţii anterioare incomplete măresc desemenea rezistenţa, adesea se produce chiar o totală radiorezistenţă (de ex.epiteliomul).Acestui fenomen i s-a dat numele de radio-imunizare. In acelaşi timp în care ţesutul neoplazic devine mai rezistent, ţesutul general devine mai sensibil,fenomen care este explicat, după unii datorită unui împrăştieri a unei substanţe toxice liberată de radiaţii în dauna celulelor mai mult sau mai puţin

asemănătoare substanţelor colagene a ţesuturilor, iar după alţii, din cauza unei stări rele a stromei conjunctivo_vasculare lezată de iradiaţiile anterioare şi devenită neputincioasă să inhibe celulele neoplazice nedistruse de radiaţii şi astfel incapabile de reparaţii. Oricare ar fi explicaţia această radio-imunitate trebuie neapărat evitată căci ea conduce la incurabilitate. Trebuie astfel să se prescrie în tratamentul curativ al cancerului, doze mici şi repetate căutîndu-se să se obţină distrugerea cancerului într-un timp scurt, distrugere ce trebuie să fie totală.

Metode de tratament

In ce privesc lungimile de undă ce condiţionează aplicaţiile în medicină, razele röentgen se împart :

-între 500 A şi 1 A nu au aplicaţii. Doar cele cuprinse între 3 A şi 1 A (razele limită ale lui Buchy) sînt fparte moi, adică străbat foarte puţin pielea, ceva mai adînc decît razele u.v., dar rămîn tot în piele;

-cele de 0,2 A se întrebuinţează de Chaoul în radioterapia de contact;

-cele de 0,1 A se întrebuinţează în röentgenterapia mijlocie penetrantă;

-cele de 0,06 A sînt întrebuinţate în röentgenterapia profundă.

In funcţie de localizarea tumorii, se pot executa următoarele tehnici :

1)Röentgenterapia cu raze limită sau cu raze moi (Bucky 1930). Intrebuinţarea acestor raze se bazează pe însuşirea lor de a străbate în piele mai profund decît r.u.v. Cu aceste raze se fac tratamente locale (cutanate), fie pentru tumori, fie pentru a produce reacţii generale în organism (printr-o acţiune reflexă asupra sistemului nervos vegetativ). Razele mai produc un reflex cutano-visceral ce lucrează ca un revulziv în visceralgii.

Sînt indicate deci la copii (pielea sensibilă), în afecţiunile situate în vecinătatea ochilor sau a gl.genitale, în bolile sistemului nervos vegetativ (unele afecţiuni ale stomacului, constipaţii spastice, menoragii, etc.).

2)Röentgenterapia prin contact (H.Chaoul 1931) se bazează pe faptul că prin mărirea distanţei focus-piele, cu atît se măreşte doza din profunzime

în raport cu cea dela suprafaţă. In această metodă se urmăreşte exact inversul : prin micşorarea la extrem a acestei distanţe (3 cm) doza chiar la 1 cm adîncime scade foarte mult şi brusc.

Avantagiul acestei metode constă în aceea că se poate administra o doză puternică pe o adîncime de 2-3 cm fără a leza ţesuturile sănătoase situate mai profund decît tumoarea.

3) Metoda lui Coutard urmăreşte deosebirea de radiosensibilitate dintre celulele sănătoase şi cele tumorale. Pentru a mări această diferenţă (de obicei foarte mică), trebuie să ţinem seama de următoarele fapte :

- de urmările în timp a absorbţiei;
- de faptul că celula vie îşi poate reveni;
- că orice celulă ţine de celulele vecine şi de mediul total în care trăieşte.

S-a dovedit că deosebirile de sensibilitate cresc cu cît are loc o fracţionare mai mare a dozei şi că existenţa facultăţii de refacere permite ca doza totală să fie considerabil crescută.

Deci metoda constă în fracţionarea dozei şi prelungirea timpului de iradiere, imitînd astfel iradierea prelungită dela radioterapie. Deşi expunerea este lungă (de ex. 2 ore) rămîn 22 ore fără iradiere, aşa că nu se pot nimici toate celulele în stadiul de mitoză. Dar cum totuşi celulele depind unele de altele, metoda este judicioasă.

Iradierea se face zilnic timp de 1½-2 ore, etalonat în 4-6 săptămîni. Cu această metodă apare frecvent radioepitelita (către ziua a 12-14-a)sau radioepidermita (către ziua a 23-26-a). Cînd apar aceste leziuni, de altfel benigne ce se îngrijesc cu aplicări de creme grase, spălături, gargarisme cu lichide uşor antiseptice şi alcaline, etc., tratamentul este suspendat. Vindecarea se face în 12-15 zile.

4)Radioterapia rotatoare (H.Mayer 1913) are ca principiu faptul că are mare importanţă volumul de ţesuturi iradiate şi că păstrarea în bune condiţiuni a ţesuturilor sănătoase din jurul tumorii, e o condiţie a reuşitei tratamentului. Metodele anterioare nu realizau suficient acest postulat.

Prin această metodă se permite administrarea în profunzime a dozei voite, fără ca pielea şi ţesuturile subjacente să primească decît o doză foarte moderată din cauză că se realizează acelaşi pro-

cedeu ca şi la tomografie : numai regiunea voită este menţinută sub efectul razelor, regiunile din jur schimbîndu-se neîncetat prin rotirea tubului.

5)Radioterapia totală sau teleröentgenterapia este iradierea întregii suprafeţe a corpului,indicată în leziunile foarte întinse sau generalizate,superficiale sau profunde. Iradierea se poate face fragmentar sau dintr-odată.

Cu această metodă apar tulburări sanguine,deaceea se va controla frecvent tabloul sanguin şi se va opri tratamentul cînd hematiile scad sub 3.000.000 şi leucocitele marchează şi ele o scădere importantă. Din această cauză metoda reclamă o prudenţă extremă. Ea este indicată în : limfogranulomatoză, leucemii, boala lui Vaquez, astmul bronşic, tulburări vago-simpatice, metastaze osoase multiple, pemfigus, prurigo, etc. Ca metode mai puţin folosite citäm : metoda dozelor masive în scurt timp (metoda aproape părăsită), metoda lui Holfelder ce se face tot prin aplicare fracţionată ca metoda lui Coutard numai cu un ritm special, röentgenterapia cu supravoltaj la care va arăta viitorul eficacitatea ei. Radioterapia cytolitică avînd o acţiune electivă ce se bazează pe diferenţa de acţiune a radiaţiilor asupra ţesuturilor normale şi patologice, s-a căutat să se crească artificial această diferenţă. Acest lucru se poate realiza prin :

a) diminuarea sensibilităţii ţesuturilor sănătoase.In acest scop se întrebuinţează compresiunea ţesuturilor superficiale ce produce un grad oarecare de anemie şi deci o micşorare a radiosensibilităţii. Producerea de anemie prin alte procedee, cum ar fi prin administrarea de adrenalină sau aplicare de ghiaţă, nu este bună căci este susceptibilă de a favoriza apariţia unei radionecroze tardive.

b) creşterea radiosensibilităţii ţesutului patologic se face prin introducerea de diverse substanţe fluorescente (ca eozina, fluoresceina). Mai recent s-au făcut tentative pentru obţinerea unei emisiuni secundare cu ajutorul radiatorilor cu pondera atomică mare, introduşi în formaţiunile ce trebuiesc distruse. Aceşti radiatori secundari se introduc cît mai aproape de celulele tumorale. Ca astfel de substanţe se folosesc suspensiile coloidale ale metalelor grele sau combinaţiile de iod şi clorură de cerium (dextrocid).

Alţi autori din cauză că temperatura măreşte acţiunea distrugătoare a acestor radiaţii, au preconizat sensibilizarea ţesuturilor prin aplicaţii de diatermie care întotdeauna va precede iradiaţia propriu zisă. Deşi conduita tratamentului intră numai în domeniul specialistului, vom arăta următoarele : în tratamentul curativ al cancerului nu se vor face doze mici şi repetate ci doza se va etala pe timp de 3-4 săptămîni. Efectul sterilizant este obţinut astfel cu minimum de radiaţii.Dacă nu ajunge o serie de radiaţii, se poate face o a doua serie dar la trei luni după prima. Totuşi este preferabil pentru a distruge un cancer, de a reuşi tratamentul din prima dată. Dozele mici şi repetate nu vor fi indicate decît în cazul în care vindecarea definitivă este socotită imposibilă şi în care se caută deci numai limitarea tumorii şi încetarea exsudatelor sau hemoragiilor, prin acţiunea lor sclerozantă.

Doza maximă care se poate da este aceia care provoacă căderea epidermului fără a leza dermul,doză care este echivalentă dozei de toleranţă tisulară. Această doză ţine de mai mulţi factori,dintre care citäm : modul de administrare în timp (durata totală a tratamentului), numărul de radiaţii primite pe minut, inegalitatea de sensibilitate în funcţie de regiune, variabilitatea individuală,dimensiunile cîmpului. Trebuie să mai fim atenţi şi la răul de radiaţii care apare de obicei după iradiaţii penetrante şi care se caracterizează printr-o senzaţie de rău, moleşeală întovărăşită de greaţă, dureri de cap, ameţeli de intensitate mai mare sau mai mică şi care, în cazuri rare, se poate termina cu moartea. Patogenia acestor tulburări este încă rău cunoscută. Se pare că se atribuie vărsării în circulaţia generală a substanţelor ce provin din dezorganizarea ţesuturilor şi care provoacă un şoc hemoclazic.

Accidente . Din cauza proprietăţilor lor biologice foarte marcate şi numeroase, aceste raze în doze mari sau repetate vor da o serie întreagă de accidente în special la nivelul tegumentelor (radiocepidermitele şi radiocepitelitele care dacă nu sînt tratate sau dacă se continuă cu radiaţiile,se pot malignriza). Alte accidente sînt azoospermia şi chiar sterilitatea atît la bărbat cît şi la femeie. Tulburări importante mai sînt şi cele ale tabloului sanguin,producîndu-se anemii şi leucopenii.

Scanned with OKEN Scanner

Razele gama

Au o lungime de undă cuprinsă între 0,06 A şi 0,001 A.

Surse şi proprietăţi. Iau naştere în mod natural sau artificial din dezintegrarea nucleului atomic, fenomen numit radioactivitate.

Din cauza importanţei sale trebuie să cunoaştem în ce constă radioactivitatea şi care sînt corpii radioactivi.

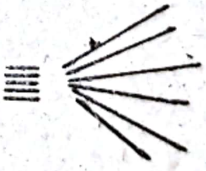
Un corp radioactiv este acela care emite în mod spontan şi continuu radiaţii. De fapt înseamnă expulsarea spontană a nucleului atomilor acelor substanţe. Radioactivitatea aparţine atomului şi nu are nici o legătura cu starea de combinaţie chimică a substanţei şi nu este influenţată de nici o formă de energie fizică şi chimică. Fenomenul a fost descoperit de Becquerel în martie 1896, de aceea razele produse prin radioactivitate se numesc şi raze Becquerel.

Radioactivitatea este de două feluri : naturală şi artificială.

Radioactivitatea naturală

Descoperită de Becquerel, este aceea în care corpul emite în mod spontan trei feluri de radiaţii, care după notaţia lui Rutherford se numesc : raze alfa, raze beta şi raze gama.

1) Razele α sînt analoage razelor pozitive (razele canal) ce iau naştere în tubul Crookes. Sînt constituite din nuclei atomici de heliu, care pierzînd cei doi electroni periferici, au sarcină pozitivă. Au o viteză de 16-20.000 km/sec., deci sînt mult mai rapide decît razele canal. Sînt deviate de un cîmp electric sau magnetic. Constituie cea mai mare parte (92%) din energia radiaţiilor radioactive. Posedă cea mai mare putere ionizantă dintre toate razele Becquerel. Produc fluorescenţa sulfurei de zinc (fenomen folosit la spintariscop pentru punerea lor în evidenţă). La camera Wilson se prezintă sub forma unor fascicole. Nu sînt utilizate în terapeutică căci sînt absorbite chiar şi de o foiţă de ţigară.



Prin expulzia din nucleu a unei particule α, un nucleu se transformă în altul cu o masă mai mică cu 4 unităţi şi cu numărul atomic mai mic cu 2, deoarece sarcina par-

celei α este egală cu 2. Noul atom se mută cu două căsuţe mai la stînga în tabloul lui Mendelev.

$$^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{222}_{86}Rn \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{218}_{84}Po$$

2) Razele beta sînt formate din electroni ca şi razele catodice. Au o viteză însă mult mai mare (pînă la 270.000 km/sec.). Sînt deviate de un cîmp electric sau magnetic, însă în mod invers ca razele α. Reprezintă abia 3,2% din energia radiaţiilor radioactive. Examinate la camera Wilson au un aspect sinuos şi întrerupt. Din cauza vitezei lor, sînt mult mai penetrante decît razele catodice. Sînt astfel de două feluri : moi şi dure.

Cînd nucleul emite o particulă β ,nucleul rămas va avea acelaşi număr de masă, dar numărul de ordine va fi cu o unitate mai mare, adică noul element se aşează în sistemul periodic cu o grupă mai la dreapta faţă de elementul iniţial. Electronul emis provine din faptul că un neutron se transformă într-un proton şi un electron care este expulzat (Neutron $\rightsquigarrow$ proton + electron).

$$^{214}_{83}Rs\ C \longrightarrow {}^{214}_{84}Ra\ C' + {}^{0}_{1}\beta$$

3) Razele gama. Sînt oscilaţii electromagnetice. Nu sînt deviate de un cîmp electric sau magnetic. Reprezintă 4,8% din energia totală a radioactivităţii. Au proprietăţi ionizante. Provoacă fluorescenţa majorităţii cristalelor: orice corp transparent (în special sticla şi cristalul) devine luminos sub influenţa acestor raze. Provoacă efecte fotochimice : grăsimile, lecitina sînt alterate iar colesterina este distrusă. Această acţiune asupra grăsimilor are mare interes din p.d.v. biologie şi explică în parte acţiunea radiaţiilor asupra ţesuturilor şi celulelor. Au acţiune asupra albuminei şi globulinei şi o acţiune floculantă asupra coloizilor. Ca şi razele röentgen sînt absorbite de materie şi se supun legilor absorbţiei în funcţie de greutatea atomică, absorbţia fiind direct proporţională cu puterea a 4-a a numărului atomic. Prin absorbţie dau tot trei feluri de raze secundare : raze de difuziune, raze caracteristice sau de fluorescenţă (ce nasc din atomul ce a absorbit razele γ) şi raze β secundare (ce provin din

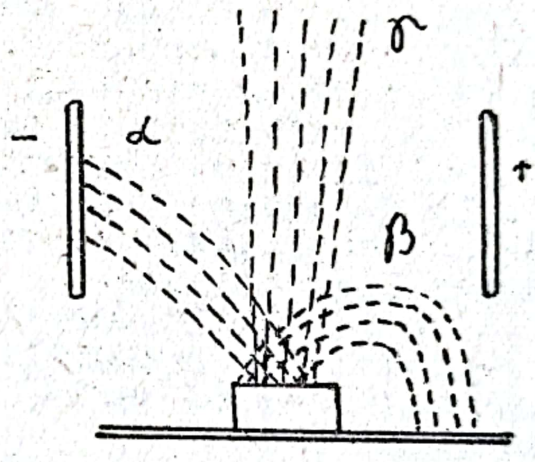
electronii desfăcuţi din atomi.

La emisia de raze γ nucleul atomic pierde energie, însă componenţa rămîne neschimbată.

Fiind 40 de feluri de substanţe radioactive naturale, se poate întîmpla ca prin dezintegrări succesive să se întîlnească în aceeaşi căsuţă mai mulţi atomi cu acelaşi număr atomic dar cu alte numere de masă; aceşti atomi sînt izotopi şi împreună formează o pleiadă de izotopi.

La dezintegrarea α se obţin aproape întotdeauna nuclei în stare neexcitată; de aceea, radiaţia α a nucleilor nu este însoţită practic de o radiaţie γ. La dezintegrarea β pot să rezulte atît nuclei excitaţi cît şi neexcitaţi şi de aceea radiaţia β a unor nuclei este însoţită de o radiaţie γ iar a altor nuclei nu este însoţită de radiaţii γ

Iată cum se prezintă cele trei feluri de radiaţii radioactive într-un cîmp magnetic:



După ce Becquerel descoperă această proprietate de a emite în mod spontan radiaţii pentru uraniu, M.Curie (1898) descoperă poloniu, din aceeaşi clasă cu bismutul, dar diferit de acesta prin activitatea lui radioactivă. El are o activitate radioactivă de cîteva mii de ori mai mare ca uraniu. După încă jumătate de an soţii Pierre şi Maria Curie, descoperă radiumul ce este din familia bariului, dar de un milion de ori mai activ decît uraniul.

Regula de deplasare a permis să se stabilească o legătură între grupe întregi de elemente radioactive. Astfel thoriul cu numărul de masă 232 emiţînd o particulă α se transformă într-un izotop al radiului: mezotorium I cu numărul de masă 228 şi numărul de ordine 88. Mezotorium I la rîndul său, emite un electron şi se transformă în mezotorium II -izotop al actiniului. Mezotorium II emite raze β şi se transformă în radiotoriu. Lanţul radioactiv merge dela element radioactiv la altul, pînă cînd, în urma dezintegrării radioactive se formează un element stabil. Astfel se obţin familii sau serii de elemente radioactive şi

anume s-au stabilit trei serii :
-seria uraniului;
-seria thoriului (1898);
-seria actiniului (1899).

Fiecare se termină cu unul dintre izotopii neradioactivi ai plumbului.

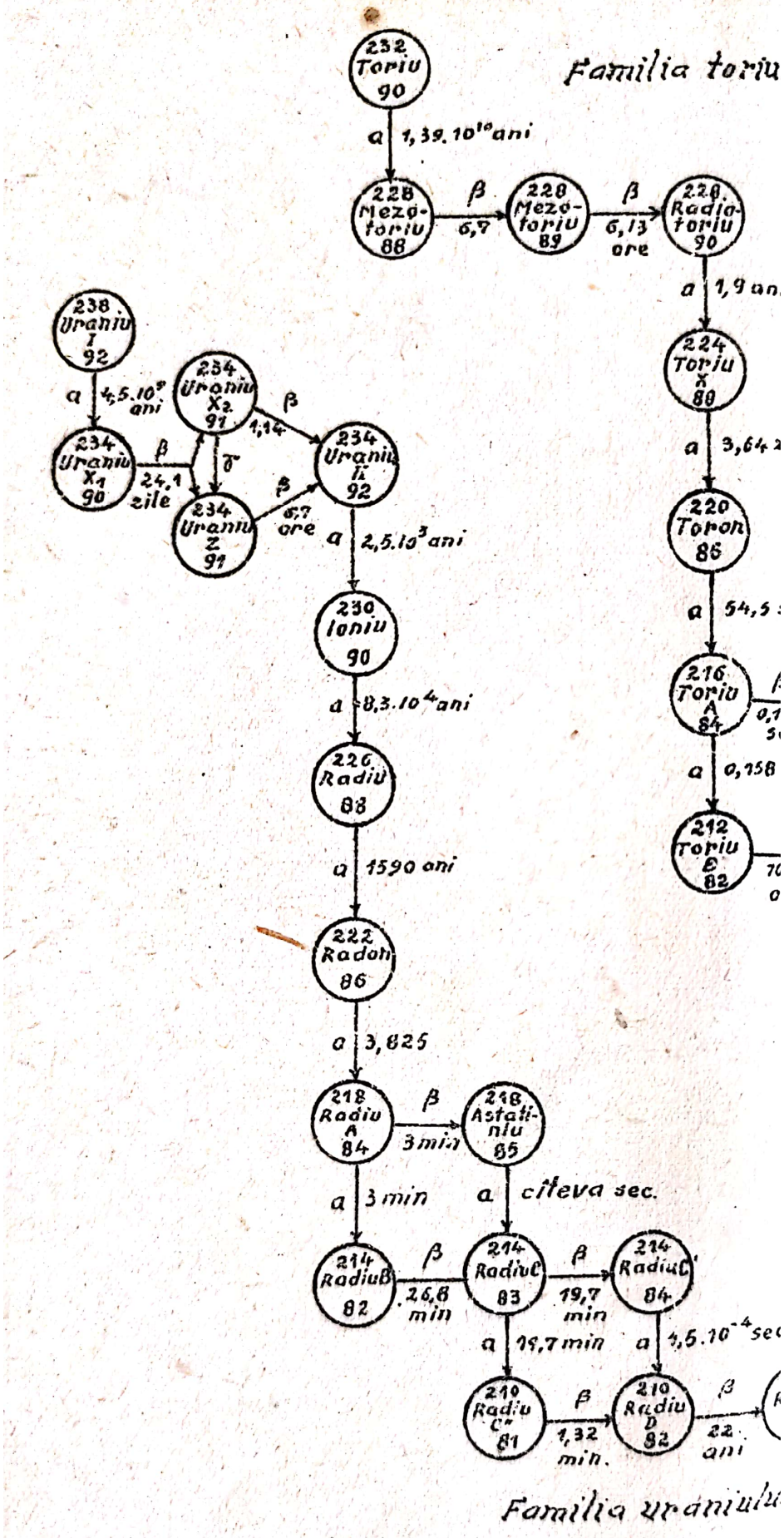
Ulterior s-a obţinut pe cale artificială o nouă familie de elemente radioactive - familia neptuniului ce se termină cu un izotop stabil al bismutului.

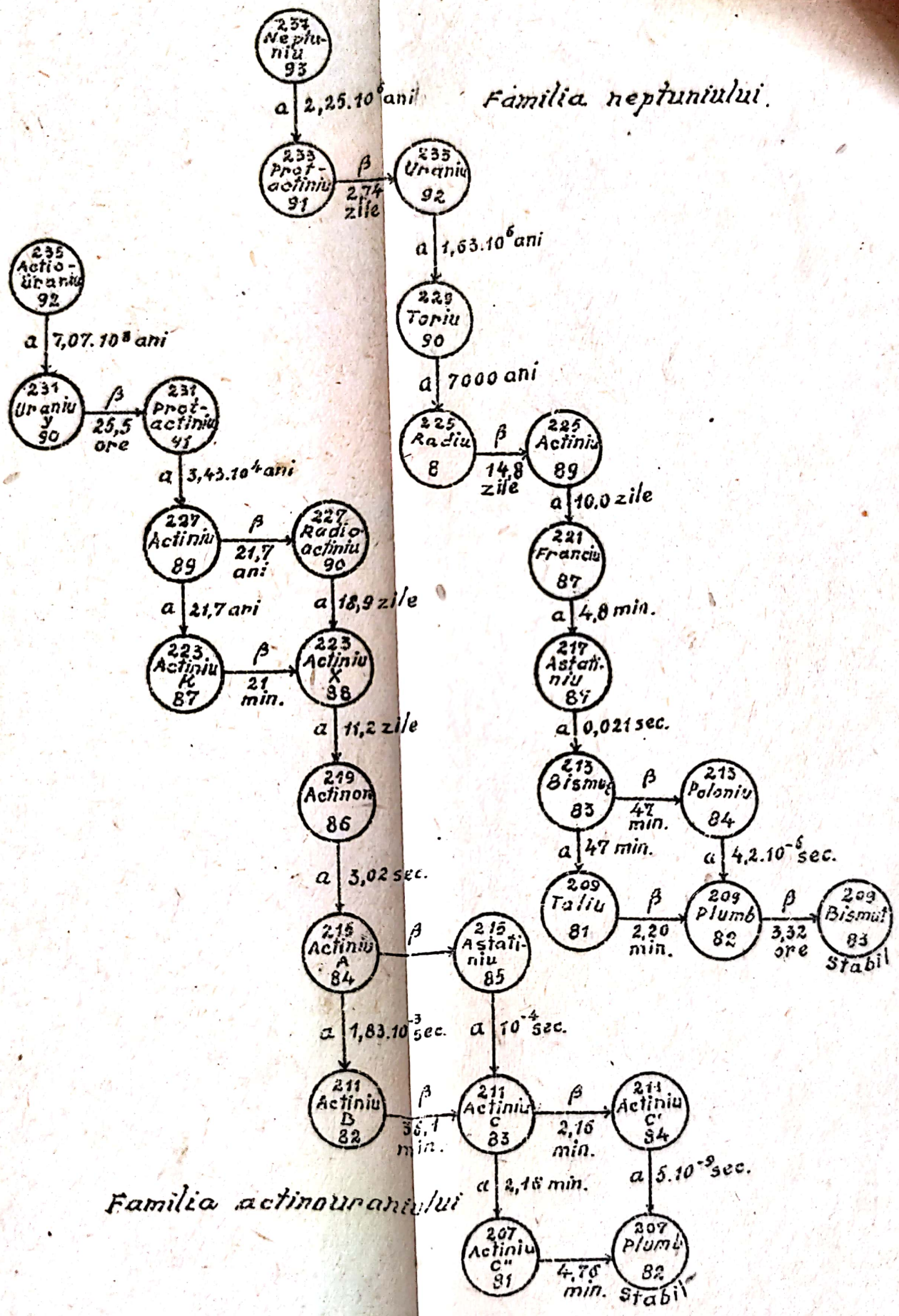
Unul dintre membrii importanţi ai familiei uraniului este izotopul radiu cu masa 226 larg folosit în medicină şi tehnică.

In afară de transformările naturale arătate mai sus, nucleii grei pot să se descompună în două părţi, proces numit fisiune. Nucleii formaţi în urma fisiunei se numesc schije. Fiecare nucleu poate să fisioneze în moduri diferite dînd cîte două schije; de aceea în procesul de fisiune nucleară se formează un număr mare de produşi diferiţi de fisiune. Procesul fisiunei spontane a uraniului a fost descoperit de savanţii sovietici Flerov şi Petrjak (1939). Probabilitatea procesului de fisiune este extraordinar de mică.

Proprietăţile corpilor radioactivi :
-produc fosforescenţa unor corpuri ca : sticla, platinocianura de bariu, sulfura de zinc, diamantul, epidermul, etc.
-au acţiune ionizantă asupra gazelor (în special razele α).
-sărurile de radiu şi radiul pur, sînt spontan luminoase putîndu-se citi la întunerec în apropierea lor.
-toate, dar mai ales radiul, au acţiune colorantă asupra unor corpuri ca : stiela, cuarţul, porţelanul; virează culoarea platinocianurei de bariu efect Villard.
-efecte chimice (descompun uneori apa, transformă oxigenul în ozon, impresionează placa fotografică.).
-au acţiuni biologice asemănătoare razelor X (eritem, radiodermite, necroze în profunzime, etc.).

Activitatea corpilor radioactivi dă naştere la gaze numite emanaţii : radiumul dă radon. thorium dă thoron, actinium dă actinon.


Familia toriu
232 Toriu 90
a 1,39.10¹⁰ ani
228 Mezo-toriu 88
β 6,7
228 Mezo-toriu 89
β 6,13 ore
228 Radio-toriu 90
a 1,9 an
224 Toriu X 88
a 3,64
220 Toron 86
a 54,5
216 Toriu A 84
a 0,158
212 Toriu C 82
238 Uraniu I 92
a 4,5.10⁹ ani
234 Uraniu X₂ 91
β 1,14
234 Uraniu X₁ 90
β 24,1 zile
γ
234 Uraniu Z 91
β 6,7 ore
234 Uraniu II 92
a 2,5.10³ ani
230 Ioniu 90
a 8,3.10⁴ ani
226 Radiu 88
a 1590 ani
222 Radon 86
a 3,825
218 Radiu A 84
β 3 min
218 Astatiniu 85
a 3 min
a cîteva sec.
214 RadiuB 82
β 26,8 min
214 RadiuC 83
β 19,7 min
214 RadiuC' 84
a 19,7 min
a 4,5.10⁻⁴ se
210 Radiu C'' 81
β 1,32 min.
210 Radiu D 82
β 22 ani
Familia uraniului


237 Neptuniu 93
a 2,25.10^6 ani
233 Protactiniu 91
β 27,4 zile
235 Uraniu 92
a 1,63.10^6 ani
229 Toriu 90
a 7000 ani
225 Radiu 88
β 14,8 zile
225 Actiniu 89
a 10,0 zile
221 Franciu 87
a 4,8 min.
217 Astatiniu 85
a 0,021 sec.
213 Bismut 83
β 47 min.
213 Poloniu 84
a 47 min.
a 4,2.10^-6 sec.
209 Taliu 81
β 2,20 min.
209 Plumb 82
β 3,32 ore
209 Bismut 83
Stabil
Familia neptuniului.
235 Actio-uraniu 92
a 7,07.10^8 ani
231 Uraniu Y 90
β 25,5 ore
231 Protactiniu 41
a 3,43.10^4 ani
227 Actiniu 89
β 21,7 ani
227 Radio-actiniu 90
a 21,7 ani
a 18,9 zile
223 Actiniu K 87
β 21 min.
223 Actiniu X 88
a 11,2 zile
219 Actinon 86
a 3,02 sec.
215 Actiniu A 84
β
215 Astatiniu 85
a 1,83.10^-3 sec.
a 10^-4 sec.
211 Actiniu B 82
β 36,1 min.
211 Actiniu C 83
β 2,16 min.
211 Actiniu C' 84
a 2,16 min.
a 5.10^-9 sec.
207 Actiniu C'' 81
4,76 min.
207 Plumb 82
Stabil
Familia actinouraniului

Tulburările cauzate de radiațiile intense se reduc la :

1)leziunile unghiilor, căderea părului, dermatite, radioarsuri, ulcerații și cancere cutanate.

2)acțiune generală manifestată prin modificări funcționale cum ar fi cele din partea sistemului nervos central (somnolență, starea generală proastă, cefalee.).

3)lezarea sistemului hematopoetic

4)lezarea glandelor genitale,la femei procese atrofice și funcțional depresive manifestate prin vicierea ciclului ovarian și menstrual, menoragii.

5)cancerul si melanosarcomul bronhiilor și plămînilor

6)osteite, osteomielite,osteonecroze și osteosarcoame.

7)produc malformații congenitale.

Teoria dezintegrării atomice .

Atomii substanțelor radioactive se dezintegrează spontan și brusc; fenomen ce are loc la nivelul nucleului atomic. Din nucleu este expulzată o particulă alfa (α), ce este un nucleu atomic de heliu. Uneori se mai desfac din nucleul central și electroni ce constituiesc razele beta,razele σ se admite că provin din izbirea electronilor ce constituiesc razele beta (β), de atomii substanțelor radioactive.

Aplicații medicale (curie-terapia)

Indiferent de natura corpului radio-activ, atunci cînd se folosesc toate cele trei radiațiuni avem de-aface cu o iradiere totală numită alfa-terapie, deoarece efectele biologice sînt datorite aproape exclusiv razelor alfa. Alfa-terapia are o acțiune bactericidă. Dintre toate celulele corpului uman, cele mai sensibile sînt leucocitele asupra cărora exercită o acțiune distructivă,apoi asupra hematiilor, țesutului hematopoetic, epitelial și celulelor zonei reticulare ale capsulei suprarenale. Din această cauză alfa-terapia se aplică în : leucemii, unele anemii, reumatism și boli de nutriție. Alfa-terapia se poate administra pe următoarele căi :

-parenteral sub formă de injecții (săruri de mezothorium și thorium X, sau săruri de radiu): toate acestea ajută în afecțiunile reumatismale.

-ingestii de soluții radioactive (apa mica

rale ce conţin emanaţia), cu efecte binefăcătoare într-o serie întreagă de afecţiuni : stomac,ficat, etc.

-inhalaţii de emanaţii radioactive(thoron şi radon) cu urmări favorabile în astm bronşic,afecţiuni naso-faringiene.

-absorbţie prin piele (băi cu ape sau nămoluri radioactive).

Razele alfa(α) deşi au o putere ionizantă considerabilă sînt absorbite şi de o foiţă de ţigară. Deaceea pentru a studia efectele lor, se injectează i.v. o substanţă ce emite numai raze alfa : poloniul. Lacassagne a verificat rezultatele astfel : după un timp dela injecţie, animalul se sacrifică. Se iau principalele organe ce sînt fixate şi incluse în parafină şi apoi tăiate. Blocurile sînt aşezate pe o placă fotografică şi se obţin imagini cu atît mai puternice cu cît organul respectiv conţine mai mult poloniu. S-au putut distinge astfel două grupe de organe ; unele de eliminare (rinichi, pulmon,ficat), altele de reţinere (unele endotelii vasculare şi celulele sistemului reticulo-endotelial :măduva osoasă, ganglioni limfatici, sinus,splină,timus), care păstrează o parte din substanţa radioactivă şi o elimină încet timp de cîteva luni.

Gama sensibilităţii celulare este aceeaşi pentru razele alfa (α) ca şi pentru beta (β), gama (γ),şi X. S-au produs în organe alteraţii asemănătoare, oricare a fost substanţa iradiată.

Dacă radiaţiile radioactive se filtrează printr-un filtru subţire, sînt oprite razele alfa şi trec cele beta şi gama avem o beta-terapie ce are o acţiune caustică prin producere de leziuni puţin profunde însoţite de necroză difuză a ţesuturilor. Beta-terapia se aplică în tratamentul afecţiunilor cutanate (dermatologie).Beta-terapia are acţiune bactericidă foarte energică. O grosime de 0,6 mm platină absoarbe toate razele beta.

Dacă filtrarea se face printr-un filtru mai gros (cîţiva mm de platină) trec numai razele gama: gama-terapia ce are o acţiune asemănătoare razelor röentgen, cu deosebirea că acţionează mai profund şi mai omogen. Gama-terapia se va aplica deci în toate cazurile în care se cere distrugerea unui ţesut patologic situat adînc.

După o lege generală valabilă pentru toate

radiaţiile, dacă radiaţia radioactivă exercită în doze mari o acţiune distructivă, ea poate să exercite, în doze slabe, o acţiune favorabilă asupra organismului. Aşa se explică acţiunea lor terapeutică, cum ar fi radioactivitatea apelor minerale, a nămolurilor, a unor emanaţii absorbite pe cale pulmonară, etc.

Dintre toate corpurile radioactive, radiul ocupă primul loc în importanţa medicală din cauza efectelor sale de multe ori miraculoase. Toată producţia anuală de radiu a lumii (1-2 g) este folosită exclusiv în scop terapeutic.

Deoarece radiu se filtrează şi nu trec decît razele gama, vorbind de acţiunea biologică a razelor radiului, vorbim de gama-terapiei.

Aplicaţiile terapeutice uzuale sînt :

-radiumpunctura (curiepunctura) ce constă în aplicarea intra-tisulară de radium.

-radiumcontactul : aplicarea de radium pe tegumentele bolnavului la o distanţă ce variază între cîţiva mm şi cîţiva cm.

-teleradiumterapia : aplicarea la distanţe mai mari de 8-12 cm.

-aplicarea de radiu în cavităţi naturale.

Toate aceste aplicaţii prevăd o grijă deosebită de dozare şi manipulare ce nu pot fi arătate în cursul nostru sumar. Vom arăta numai că în radioactivitate se folosesc următoarele unităţi de măsură :

Unitatea curie reprezintă cantitatea de emanaţie în echilibru radioactiv cu 1 g de radium-element (au aceeaşi radioactivitate). Un gram de radiu în echilibru dă 7,5/1000 curie distrus pe oră. Curie de substanţă radioactivă reprezintă $3,7.10^{10}$ dezintegrări/sec.

Deoarece pentru nevoile practice această unitate este prea mare, se utilizează submultiplii:

-milicurie (m.curie) = 10^{-3} curie;

-micro-curie (μ curie) = 10^{-6} curie;

-milimicro-curie (m μ curie) = 10^{-9} curie;

Aşa de exemplu apa de Vichy are 1,7 la litru, Plombière 14, Baden-Baden 56, Ischia 194, Ioachimstal 240, Brambach 805 (toate exprimate în milimicro-curie la litru).

In 1930 Comisia Internaţională a recomandat utilizarea acestei unităţi şi pentru alţi membrii ai familiei radiului care emit raze α .In acest

cea 1 curie = cantitatea de substanţă radioactivă care emite pe sec.3,7.10^{10} particule α .Această unitate prezintă dezavantagii pentru substanţele artificiale radioactive care emit în majoritate raze β, iar altele nici raze α nici raze β (captura K).De aceea s-a adoptat unitatea "rutherford" corespunzătoare la un milion de particule α emise pe sec.

1 rd = 10^{-6} desintegrări/sec.sm

1 md = 1/37 mc =27 /Mc Ra,Rn,Po,etc.

1 mc = 37 rd.

In aplicaţii medicale se utilizează unitatea ionometrică "unitatea Dominicii" ce reprezintă cantitatea de raze γ ale radiumului date la o distanţă de 2 cm, de un tub cu 10 mg radiu filtrat prin 2 mm platină în timp de 10 ore.

Accidente : din cauză că radiaţiile corpurilor radioactive au aceleaşi proprietăţi biologice ca şi razele röentgen, vor cauza desigur şi aceleaşi accidente numai că fiind mult mai active şi măsurile de protecţie trebuie să fie mult mai severe. Aşa de ex. se utilizează filtre de plumb groase de 8 cm sau de barită de 15 ori mai groase. Timpul în care se lucrează într-o cameră este mult mai mic.

Microradioactivitatea

Corpurile radioactive naturale cuprind aproape 40 de elemente aflate în cele 4 familii. La acestea trebuie să mai adăugăm potasiul care, deşi foarte slab radioactiv, prezintă un interes deosebit din p.d.v.biologic din cauza difuziunii sale în ţesuturile, lichidele şi organele fiinţelor vieţuitoare, vegetale şi animale. Pentru a nu arăta decît un exemplu, un om adult de 65 kg conţine cca.60 g susceptibile de a emite 27.600 particule β/sec.

Fiziologul olandez Zwardemaker (1915) atrage atenţia asupra microradioactivităţii K-ului din p.d.v. biologic şi sprijină teoria sa pe următoarele experienţe :

-Dacă se irigă un cord izolat de broască cu Ringer, acesta perfuzat astfel continuă să bată timp îndelungat.

-Dacă se repetă aceeaşi experienţă cu Ringer dar care nu conţine ClK, cordul se opreşte imediat.

-Dacă se adaugă ClK la lichidul de perfuzie precedent, inima îşi reia activitatea.

-Potasiul din această ultimă experienţă poate fi înlocuit de alte substanţe radioactive în canti-

vzți echivalente. Așa 100 mg ClK echivalează cu : 130 mg clorură de rubidiu, 25 mg nitrat de uraniu, 50 mg nitrat de thoriu, 5.10^{-8} mg clorură de radiu.

Această experiență a condus la legea substanțelor r.a. : din p.d.v. al funcțiilor organice, potasiul poate fi înlocuit de doze echiradioactive.

-Dacă însă potasiul este în concentrație prea mare, are o acțiune inhibitoare oprind inima în diastolă. Acest lucru se explică prin aceea că se pare că potasiul acționează prin radiațiile sale asupra sistemului autonom excito-motor pe care-l blochează.

Același autor realizează și o altă serie de experiențe :

-Un cord irigat cu Ringer ce conține K (ce emite raze β)bate regulat mult timp.

-Un cord irigat cu Ringer ce conține o doză echivalentă de niton (ce emite raze α)bate regulat deasemenea mult timp.

-Dacă se amestecă cele două soluții precedente pentru a prepara lichidul de perfuzie, cordul încetează rapid de a mai bate.

In concluzie deci, razele α sînt antagoniste razelor β din cauza încărcării lor electrice. De unde cea de a doua lege, numită a antagonismului : combinînd două feluri diferite de radiațiuni, izolate fiecare activă, se poate constitui un lichid de echilibru ce provoacă oprirea cordului. Prin adăugarea uneia sau alteia, cordul reîncepe să bată.

Aceste legi intră în joc pentru a explica nu numai automatismul cardiac ci și cel al uterului, esofagului, intestinului, etc.

Deși s-au ivit numeroase obiecțiuni acestei teorii și deși mecanismul bioradioactivității potasiului nu este complet elucidat, faptele persistă.

Radioactivitatea artificială

Acest fenomen cu mare răsunet în biologie, își găsește originea dela descoperirea soților Irène Joliot-Curie și Fredericq Joliot (1934) și ea provine din mai toate corpurile cunoscute ce sînt bombardate cu particule extrem de rapide (particule α). Aceste particule cu mare energie cinetică nimerind nucleul atomului respectiv, îl sfarămă desprinzînd din el componentele sale, cu care ocazie se emit raze. Această descoperire care a început cu bombardarea siliciului, sodiului și magneziului cu particule α a dus în cele din urmă la descoperirea de

noi corpuri (corpurile transuraniene) şi la posibilitatea de punere în libertate a enormei cantităţi de energie ce zace în nucleii atomici, cu toate foloasele ei practice pentru medicină.

Fiecare atom radioactiv se transformă mai devreme sau mai tîrziu într-un alt atom. Nu toţi atomii aceluiaşi element radioactiv trăiesc la fel, ci unii se dezintegrează mai repede, alţii mai încet rămânînd neschimbaţi timp îndelungat. S-a constatat că numărul de atomi ce se dezintegrează în unitatea de timp, este direct proporţional cu numărul de atomi radioactiv prezenţi. Asta înseamnă că la fiecare element radioactiv se dezintegrează în unitatea de timp totdeauna aceeaşi parte, aceeaşi fracţiune strict determinată pentru fiecare element. Această fracţiune poartă numele de constantă de dezintegrare. De ex. dacă avem opt milioane atomi r.a. iar constanta de dezintegrare este de 0,1, înseamnă că în fiecare secundă se dezintegrează a 10-a parte din atomii prezenţi (adică în prima secundă 800.000 atomi; în a doua secundă 720.000 atomi din cei 7.200.000 rămaşi după prima secundă, etc.).

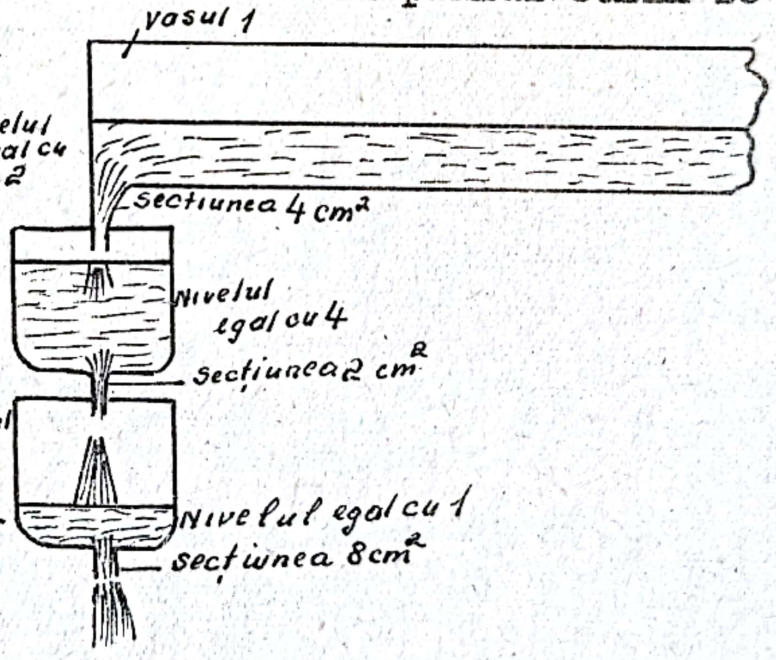
Durata existenţei elementelor radioactive se exprimă de obicei prin timpul de înjumătăţire ce reprezintă timpul în decursul căruia o cantitate existentă de atomi se reduce la jumătate.

Iată un tabel cu izotopii mai des folosiţi în practica medicală:

Denumire şi simbol		Timp de înjumătăţire	Radiaţii emise
Hidrogen	$_{1}H^{3}$	12,46 ani	
Carbon	$_{6}C^{14}$	5568 ani	raze β moi
Sodiu	$_{11}Na^{24}$	14,8 ore	raze β,γ
Fosfor	$_{15}P^{32}$	14,295 zile	raze β
Sulf	$_{16}S^{35}$	87,1 zile	raze β moi
Potasiu	$_{19}K^{42}$	12,44 ore	raze β,γ
Calciu	$_{20}Ca^{45}$	152 zile	raze β
Fier	$_{26}Fe^{55}$	45,1 zile	raze β,γ
Cobald	$_{27}Co^{60}$	5,03 ani	raze γ
Brom	$_{35}Br^{82}$	35,7 ore	raze β
Iod	$_{53}I^{131}$	8,05 zile	raze $\beta\gamma$
Aur	$_{79}Au^{198}$	2,7 zile	raze β,γ
Cupru	$_{29}Cu^{64}$	12,88 ore	
Zinc	$_{30}Zn^{65}$	250 zile	
Radiu	$_{88}Ra^{226}$	1590 ani	
Radiu A	RaA	3 minute	
Uraniu	$_{92}U^{238}$	4,5 miliarde ani	

Cu timpul amestecul de elemente din seria radioactivă ajunge într-o stare de echilibru radioactiv ceea ce înseamnă că numărul de atomi a diferitelor elemente r.a.din amestec rămîne practic neschimbat: cîţi atomi se obţin, tot atîţia se dezintegrează. Astfel etalonul dela Sévres constă din radon în echilibru cu 21,99 mg $RaCl_2$. Această cantitate de radon are masa $6,51.10^{-6}$ g şi ocupă un volum de 0,66 mmc la 0^0 şi 760 torri.

Dacă se îndepărtează din amestec unul dintre elemente, echilibrul se strică însă după un anumit timp se restabileşte. Pentru a înţelege fenomenul să facem următoarea comparaţie cu nişte bazine cu apă în care apa din bazine corespunde cantităţilor de elemente r.a., iar secţiunile ţevilor care unesc bazinele, corespund constantelor de dezintegrare. Trebuie să ţinem seama de faptul că timpul de scurgere (deci viteza) a apei depinde de afluenţa ei căci cu cît nivelul este mai înalt în bazin sau ţeava este mai largă, cu atît apa se va scurge mai repede din bazin. Să admitem că în primul bazin se află atîta apă încît diminuarea ei practic nu influenţează nivelul. Din primul bazin apa se scurge în cel de al doilea printr-o ţeavă cu secţiunea de 4 cm^2. Din al doilea bazin în al treilea, printr-o ţeavă cu diametrul de 2 cm^2, iar din al treilea în al patrulea, printr-un tub cu secţiunea de 8 cm^2.



La început nivelul apei din vasul al doilea va creşte. Cînd înălţimea nivelului din acest bazin devine de două ori mai mare decît cel din primul bazin, viteza de afluenţă a apei în bazinul al doilea va fi egală cu viteza de scurgere spre

bazinul al treilea. In primul bazin nivelul este de două ori mai scoborît decît în bazinul doi, în schimb însă secţiunea ţevei este de două ori mai mare. Deaceea apa în al doilea bazin se va menţine la acelaşi nivel.

Acelaşi lucru se poate spune şi despre al treilea bazin în care nivelul apei se va ridica pînă cînd înălţimea lui va atinge o valoare de 4 ori mai mică decît în bazinul 2.

Cînd nivelele se vor afla în raportul 2 :4:1, viteza de afluenţă şi de scurgere a apei va deveni aceeaşi pentru fiecare bazin. Se obţine astfel un echilibru.

Dacă scoatem o parte din apa din bazinul 2, echilibrul se strică : viteza de afluenţă a apei în al doilea bazin va fi aceeaşi ca şi mai înainte, însă viteza de scurgere din bazinul 2 în 3 se micşorează şi apa începe să scadă în bazinul 3. După un timp însă, nivelul din bazinul 2 creşte şi echilibrul se restabileşte din nou.

Un echilibru asemănător are loc şi la dezintegrarea radioactivă. Cu cît timpul de înjumătăţire al unui element este mai mare, cu atît acest element se găseşte într-o cantitate mai mică în amestec. De ex. în familia thoriului, se formează din thoriu în unitatea de timp tot atîţia atomi de mezothoriu I cîţi se dezintegrează formînd mezothoriu II.

Uraniul, thoriul şi actinouraniu se află în scoarţa terestră de multe milenii şi în acelaşi timp s-a stabilit echilibru în seriile uraniului, thoriului şi actinouraniului.

Considerăţiuni biologice şi aplicaţii în medicină

Izotopii artificiali radioactivi îşi găsesc, unii din ei, aplicaţii din ce în ce mai numeroase în diverse domenii ale medicinii; deaceea nu este de mirare tendinţa de a fi utilizaţi cît mai mult. Folosirea lor în atîtea domenii se datoreşte faptului că ei prezintă următoarele proprietăţi :

-Ele sînt toxici decît în doze prea mari (din cauza radioactivităţii lor).

-Ele au descendenţi radioactivi astfel încît pericolul acumulării dozelor mici şi a prelungirii acţiunii lor peste limitele stabilite, sînt absolut excluse.

- Se fixează electiv pe unele ţesuturi.
- Îşi trădează de aci prezenţa prin radiaţiile pe care le emit, servind astfel ca trasori (atomii marcaţi) prin procedeul numit autoradiografia (London şi Koptarev 1904) ce se bazează pe capacitatea radiaţiilor unora din corpii r.a. de a lăsa urme pe plăcile sau emulsiile fotografice. Aceasta este singura metodă prin care se pun în evidenţă microcantităţi de raze α şi β, în special în cazul în care intensitatea iradierii nu poate fi măsurată cu contorul.

Preciaia autoradiografiilor depinde de densitatea ionizării particulelor. Particulele α pătrund în gelatină cca. 20-25 μ şi îşi manifestă acţiunea lor numai pe această distanţă, lăsînd pe emulsia fotografică, urme precise. Particulele β, în funcţie de energie, pătrund în gelatină 0,1 pînă la 10-20 mm iar urmele lor nu sînt drepte şi au un aspect neregulat. Substanţele r radioactive, care emit raze cu o mare capacitate de penetraţie, aproape că nu sînt potrivite pentru autoradiografie.

Majoritatea autorilor utilizează metoda autoradiografiei de contact pe filme sau plăci fotografice cu o mare sensibilitate. Esenţa metodei constă în crearea în cursul unei anumite perioade de timp, a unui contact intim între ţesutul ce conţine elementul r.a. şi emulsia fotografică. Metoda deşi ne dă o imagine asupra repartizării substanţei r.a. în ţesuturi, nu ne permite totuşi să determinăm doza de izotopi radioactivi.

O descriere completă a întrebuinţării izotopilor radioactivi nu se poate face. Noi vom arăta numai cîteva din aplicaţiile cele mai cunoscute şi anume :

- În scopul studierii stării funcţionale a unei serii de organe sau sisteme fiziologice.
- Ca mijloc terapeutic cu succes deosebit în unele afecţiuni.
- Pentru studiul mecanismelor proceselor de schimb din organism (diversele metabolisme).
- Pentru studiul distribuţiei diferitelor substanţe în ţesuturile, organele şi celulele organismului precum şi a căilor de absorbţie, fixare şi eliminare din organism a unui mare număr de substanţe şi a combinaţiilor introduse din afară, inclusiv a celor active din p.d.v. farmacologic (medicamente).
- Se utilizează cu succes în analiza cantita-

tivă a unei serii de substanţe prin "metoda diluţiei izotopice."

1. In cercetări de laborator şi diagnostic

In decursul vieţii sale un individ adult primeşte 0,01-0,001 micrograme de radiu precum şi mici cantităţi de radiocarbon (C^{14}) şi radiopotasiu (K^{42}). Ultimul este prezent în ţesuturile adultului într-o concentraţie suficientă pentru a emite 150.000 particule β pe minut ce nu sînt toxice pentru că organismul uman este obişnuit în mediul său natural cu astfel de doze.

Cercetarea proceselor vitale cu ajutorul izotopilor se poate face datorită faptului că fiind introduşi în organism, substituiesc molecule mai simple sau mai complexe (lipide, protide, hormoni, substanţe farmacologice, substanţe toxice, etc.) şi prin radiaţiile pe care le emit izotopii, se poate urmări drumul parcurs de aceste substanţe şi de derivaţii lor metabolice, procesele de absorbţie, sinteză, metabolizarea, depozitare şi eliminare. Cu ajutorul izotopilor r.a. experienţele biologice se realizează în condiţiuni mult mai fiziologice şi deci concluziile sînt mai reale.

Radiosodiul şi radiopotasiul au adus contribuţiuni importante la studiul permeabilităţii celulare. Astfel aceşti ioni radioactivi pătrund în interiorul algei Nitella cu o viteză mult mai mare decît cea aflată prin metoda chimică. In interiorul celulelor de Spyrogira, sodiul r.a. atinge o concentraţie de 10 ori mai mare decît în lichidul ambiant. Pătrunderea în hematii a ionilor de sodiu în schimb este foarte încetinită, iar a celor de potasiu, minimală. Intensificarea sau abolirea permeabilităţii gl.roşii este consecinţa unor tulburări în funcţia sistemelor oxido-raducătoare. De ex. este scăzută în poliartrita reumatică, tbc pulmonară, pneumonii, etc. şi este crescută în nefrite cronice, ciroze hepatice.

La 60' după administrarea i.v.a sodiului, concentraţia lui atinge în lichidul ventricular 70% din concentraţia existentă în sînge şi numai 20% în l.c.r. Urmărind dispariţia sodiului radioactiv din plasmă şi acumularea lui în spaţiul extracelular, putem să calculăm volumul lichidului extracelular ce constituie în mod normal 25-30% din greutatea corporală şi astfel putem şti şi volumul apei totale din organism.

Eliminarea sodiului r.a. se face foarte repede, astfel că apare în urină după 25 minute dela injectarea lui i.v. Eliminarea este întîrziată dacă organismul este în carenţă de sodiu şi în schimb este mărită dacă organismul conţine sodiu în *exces*. Pe animalele adrenalectomizate s-a confirmat o excreţie mărită de sodiu şi o retenţie de potasiu. In laptele de mamă, sodiul r.a. este prezent la 20' după ingerare. Intre conţinutul de sodiu r.a. al plasmei pe de o parte şi cel al exsudatelor şi transudatelor pe de altă parte, se stabileşte un echilibru dinamic abia după 9-12 ore, deci aci intervin alţi factori determinanţi ai permeabilităţii decît în lichidul extracelular. La animalele supuse unor traumatisme sau arsuri, sodiul r.a. dispare repede din plasmă şi se adună în spaţiile extracelulare ale ţesuturilor lezate. In aceste spaţii acumularea sodiului prevalează pe cea a apei. In stare de şoc, organismul reţine sodiul aproape în întregime.

Cu sodiul r.a. se poate determina cu uşurinţă viteza de circulaţie a sîngelui : se injectează în vena cubitală o sol.de NaCl ce conţine sodiu r.a. şi cu ajutorul unui contor se înregistrează momentul apariţiei atomilor r.a. la orice distanţă dorită.

Cu un detector special aplicat în regiunea precardială s-au înregistrat cardiograme caracteristice care denotă prezenţa leziunilor valvulare sau congenitale ale inimii.

S-au reuşit să se exploreze şi vasele limfatice cu ajutorul sodiului r.a.

Cînd este administrat i.v. în cazul obliterării arterelor şi cu ajutorul curbelor grafice ale valorii r.a.a plasmei şi a tumorilor tisulare, se pot trage concluzii preţioase asupra eficacităţii circulaţiei colaterale. Această metodă practică are importanţă nu numai pentru diagnostic şi prognostic dar este şi un indiciu preţios în alegerea metodelor de tratament permiţînd şi o apreciere obiectivă a eficacităţii acestora. Metoda se aplică în caz de nevoie şi pentru a determina precis nivelul unde se va face amputaţia.

Radioiodul administrat i.v.sau per os sub formă de IK, se acumulează în glanda tiroidă (de 5000 de ori mai mult decît în celelalte ţesuturi), ficat, splină, inimă. Din această cauză cu ajutorul lui se cunosc date noi referitoare la funcţia glandei tiroide. Glanda tiroidă fixează iodul în raport direct

cu activitatea ei. De ex: o glandă în hiperfuncţie va fixa mai mult iod r.a. decît una normală, iar în hipofuncţie se fixează şi mai puţin. In cazurile de mixedem cantitatea de iod este minimă sau chiar nulă, fapt care are şi o importanţă în diagnostic. Normal la 24 ore după administrarea unei doze de 100 Mc, glanda fixează 20-40% din doza administrată. Mai are importanţă şi ritmul de fixare; astfel la 30' după administrare, iodul r.a. este prezent în totalitatea acinilor glandei tiroide într-o concentraţie atît de mare încît secţiunile histologice sînt capabile să producă autoradiografii. Capacitatea de a fixa iod o are numai ţesutul tiroidian cu activitate hormonală specifică. Aşa s-a aflat că glanda tiroidă a embrionilor de şobolani are o activitate hormonală specifică şi fixează iodul deja din ziua a 18-a-19-a şi prin urmare gl. tiroidă influenţează creşterea organismului încă din viaţa embrionară.

Dacă se administrează animalului tiouracil, tiroida fixează cu 75% mai puţin iod decît animalele de control. După întreruperea tratamentului glanda se hipertrofiază şi are o capacitate mărită de a fixa iodul, comportarea ei fiind asemănătoare cu cea a glandei tiroide stimulate prin hormon hipofizar.

S-a mai constatat că iodul se fixează în combinaţii anorganice şi apoi organice. Acestea din urmă încep după 5' dela administrarea iodului şi în 30' este legat 50% din iod, astfel că se formează întîi diiod-tirozina care apoi trece în tiroxină.

Hidrogenul r.a. serveşte la cercetarea metabolismului apei. El se elimină în 17-20 zile.

Halogenii r.a. traversează foarte uşor hematiile. Ionii de clor din interiorul gl.roşii sînt substituiţi în decurs de 10' cu ionii de clor introduşi în plasmă. Lucrurile se petrec la fel şi cu ionii de brom şi iod, însă schimbul cu ionii fosfaţi se face mai lent.

Fierul r.a. avînd o perioadă lungă, permite experienţe de lungă durată. El este transportat prin plasmă spre organele hematopoetice unde se face sinteza hemoglobinei, fiind fixat de către hematii. Cu ajutorul lui s-a determinat precis că hematiile trăiesc 130-150 zile. S-a elucidat şi mecanismul de eliminare a fierului din hemoglobină în icterul hemolitic. Astfel în această boală, fie-

rul se eliberează din hemoglobină sub formă de pigmenţi biliari. Numai 3% din fier este eliminat de organism; restul de 97% se depozitează în ficat şi splină, fiind reutilizat la sinteza hemoglobinei. La animalele anemice, după administrarea per oralã de fier r.a., excreţia acestuia prin urinã şi fecale este mai micã decît la animalele sănătoase. Animalele anemiate prin sîngerări mici şi repetate, absorb de 5-15 ori mai mult fier decît animalele sănătoase. In aceste cazuri, după unii absorbţia se poate mări pînă la 50 de ori. Eliminarea lui prin bilă este minimă. Din clorura de fier trivalent adăugată la nutreţul vacilor ce alăpteazã numai 1,5-2,5% este excretată prin lapte timp de 77 de ore, totuşi este asigurată astfel necesitatea de fier a animalului tînăr. După hemoragii mari, capacitatea de absorbţie a fierului nu este mărită decît după cîteva zile, latenţa datorindu-se probabil utilizării în acest timp a fierului tisular. Dacă cu 6 ore înaintea administrării fierului r.a. se dă o doză de fier obişnuită din terapie, fierul r.a. nu se mai absoarbe deoarece mucoasa intestinului subţire este saturată cu fier aproximativ 24 de ore şi această stare împiedică absorbţia dozelor următoare. Dacă se face o sîngerare, starea de saturaţie se desfiinţează probabil pe cale reflexă, fiind astfel posibilă absorbţia unor noi cantităţi de fier: Organismul absoarbe de 2-15 ori mai mult fier r.a. bivalent decît trivalent.

Fierul absorbit se acumulează în măduva oaselor, sînge, splină şi musculatură. Acesta din urmă este un rezervor important deoarece la animalele anemice 25% din fierul absorbit se depozitează în musculatură. Fierul r.a. administrat numai pe cale bucală s-a regăsit după 40' în plasma fătului iar după 2 ore şi în hematiile lui

După ce a fost absorbit de mucoasa duodenală şi a intestinului subţire, intră în componenţa unei substanţe albuminoide numită feritina ce se acumulează mai ales în ficat şi vezica biliară unde constituie o rezervă. Fierul din feritină se transformă în măduva oaselor în hemoglobina care este inclusă în eritrocitele ce se formează acolo. Fierul rămîne în hematii pînă în momentul distrugerii lor, căci din eritrocite nu trece în plasmă şi nici invers.

Pentru a urmări fenomenul sintezei hemoglobinei se notează momentul apariţiei fierului r.a.în hematii şi se stabileşte astfel precis cum şi cu ce viteză se formează hemoglobina. Se pot stabili astfel cauzele unei anemii.

Cu ajutorul fierului r.a.s-au mai studiat şi problemele relative la conservarea sîngelui donatorilor de sînge, acţiunea plasmodului malariei asupra eritrocitelor,etc.

Stronţiul r.a. se fixează aproape exclusiv în oase (mai ales în şanţul epifizar unde se produce creşterea osului) şi dinţi; în aceştia din urmă într-o proporţie de 35-50%. In proporţii mai mici se fixează în intestinul subţire; colon,inimă,plămîni,piele. Se administrează i.v.sub formă de lactat de stronţiu. Inhalat se fixează 50% în oase, deci se pot fixa foarte bine substanţele şi pe această cale.

Cu ajutorul lui s-au putut realiza astfel de concentraţii în oase, încît razele emise au făcut posibilă fotografierea întregului schelet.

Calciul r.a. a elucidat metabolismul calciului în graviditate. El se fixează în oase de unde se eliberează în ultimele zile ale sarcinei trecînd prin placentă în organismul fătului, iar după naştere calciul rămas trece din oase în laptele din glanda mamară. In acelaşi timp la noul născut începe un proces intens de osificare.

Radiofosforul se acumulează în oase (în special în metafiză şi apoi în epifiză şi diafiză), în măduva osoasă, elementele sanguine, splină (în foliculii şi pulpa roşie), în ficat şi ganglioni limfatici, rinichi, muşchi.

Trebuie de adăugat că absorbţia fosforului r.a. depinde de fosforul total al organismului, de viteza metabolismului în diferite ţesuturi precum şi de viteza de formare a ţesuturilor noi. Astfel,fixarea lui într-un ţesut este cu atît mai pronunţată, cu cît ţesutul respectiv conţine în mod obişnuit o cantitate mai mare de fosfor şi cu cît viteza de reînoire a ţesutului este mai mare. De ex.nucleii celulelor canceroase care au o viteză mare de reînoire şi fiind foarte bogaţi în fosfor, se poate deduce lesne că celulele canceroase vor fixa fosforul în r.a. în cantităţi mult mai mari decît celulele normale (în leucoze fosforul se concentrează la maximum în măduva osoasă, celula leucemică

fixînd de 10 ori mai mult fosfor decît celula în creştere normală). In ce priveşte absorbţia în tractusul gastro-intestinal, el se absoarbe după 8 ore într-o proporţie de 70-75% iar restul nu se absoarbe deloc. Absorbţia depinde de starea în care se află funcţia motorie şi de absorbţie a intestinului, precum şi de substanţele cu care a fost administrat preparatul.

Depunerea sa depinde de :

-metabolismul activ al fosforului în ţesuturi, organele cele mai active fiind ficatul şi creerul;

-de mitozele active din celule. De ex. ţesutul neoplazic primeşte mai mulţi izotopi decît acelaşi ţesut normal;

-de cantitatea totală de fosfor din ţesuturi, cel mai bogat fiind osul.

Deci fixarea lui e cu atît mai pronunţată cu cît ţesutul respectiv conţine în mod obişnuit o cantitate mai mare de fosfor şi cu cît viteza de reînoire a ţesutului este mai mare.

Un atom de fosfor rămîne în medie 30 zile în organism; acţiunea lui în organism depinde de forma chimică şi calea de administrare. Practic se consideră că proporţia de fixare este de 0,38% la administrarea bucală şi 0,52% dacă se administrează i.v. Administrarea per os duce la o absorbţie de 75% din cantitatea totală, fapt de care trebuie să se ţină seama la totalizarea dozei. Se elimină 15-2o% prin urină şi fecale. La administrarea i.v. se elimină prin urină 15-25% în primele 4-6 zile.

Să vedem acum repartizarea radioactivităţii fosforului, lucru care se execută astfel : unui şobolan i se injectează subcutan fosfat disodic r.a. După un timp se sacrifică animalul şi se ia cîte 1 g de substanţă din fiecare organ şi se arde. Se determină r.a. cu contorul Geiger-Müller. Radioactivitatea aflată se adună şi luînd totalul ca loo%, se calculează procentele pe organe. De ex. după 4 ore dela injecţia subcutană se constată :

oase	22,6%	plămîn, inimă	6,3%
muşchi	18,7%	sînge	2,5%
ficat	17,6%	rinichi	2,4%
tub dig.	15,9%	bilă	1,3%
piele	11,1%	creer	0,02%

Dacă se repetă experienţa injectînd mai mulţi şobolani care se sacrifică după diferite intervale de timp, se constată că acumularea în oase se face

după 1/2 oră dela inoculare, după care creşte treptat, la început mai brusc şi apoi mai lent. In muşchi ajunge la maximum în 20 zile după care începe să scadă

Ţesut	timpul după introducerea Ph marcată						
	ore		zile				
	0,5	4	10	20	30	50	98
schelet	19,1	23,4	43,1	49,1	51,8	76,5	92,0
muşchi	18,3	19,4	25,8	28,8	25,2	12,1	3,0

Deoarece oasele conţin mai mult fosfor care, spre deosebire de acela din organele parenchimatoase se reînoieşte lent, acest element este reţinut în oase astfel cel mai mult timp. In afară de aceasta, spre deosebire de alţi izotopi r.a. care se depun în oase, fosforul nu se depune numai în stratul cortical ci şi în măduvă. Deaceea iradiaţiile fosforului radioactiv au anumite distribuţii. Superioritatea fosforului r.a. faţă de razele röentgen şi cobaltul r.a. constă în răspîndirea lui neuniformă. Cînd este vorba de sistemele hematopoetice şi limfatice, nu trebuie să se ignoreze nici particularităţile calitative ale ţesuturilor însăşi şi sensibilitatea lor faţă de radiaţii în general.

Fosforul r.a. emiţînd numai raze β poate străbate în ţesuturi pînă la 76 mm, majoritatea razelor fiind însă absorbite într-un strat de ţesuturi cu o grosime sub 2 mm.

Cu ajutorul fosforului r.a. s-a determinat masa sanguină şi anume există în mod normal 73-75% g /kilocorp greutate.

Tot astfel s-a măsurat volumul de sînge circulant prin întrebuinţarea de hematii marcate ce se obţin prin adăugarea de fosfat radioactiv la o anumită cantitate de sînge. După aproximativ 2 ore între conţinutul de fosfor r.a. al plasmei şi cel al hematiilor se stabileşte un echilibru; hematiile separate prin centrifugare sînt introduse în circulaţie şi cu contorul se determină radioactivitatea probelor de sînge luate la anumite intervale. Comparînd aceste valori cu radioactivitatea originală a hematiilor marcate, se poate calcula cu uşurinţă gradul de diluţie a acestora, deci şi volumul sîngelui circulant. Prin aceeaşi metodă s-a explorat funcţia de rezervor sanguin al splinei în care la cîini (în stare de narcoză) pot să stagneze 20% din totalul hematiilor.

Tot cu fosforul r.a. s-a dovedit că şi în oasele animalului adult cu creşterea terminată au loc continuu procese intense de regenerare căci menţinînd fosforul r.a. la un nivel constant în plasmă, în timp de 50 de zile se înlocuieşte 29% din substanţa epifizei femurale şi tibiale, în timp ce substanţa diafizară se înlocuieşte mult mai lent, nedepăşind 7%.

S-a mai constatat o afinitate crescută a calusului osos de după fractură pentru fosforul r.a., fapt care favorizează în mare măsură consolidarea oaselor fracturate. Cum fosforul neradioactiv nu are această proprietate, înseamnă că lucrul se datoreşte radioactivităţii.

Prin radiaţiile β pe care le emite, fosforul r.a. determină tulburări metabolice importante. In primele 2 zile dela introducerea în organism, el suferă deplasări şi transformări importante. Fosfatul din plasmă se echilibrează rapid cu elementele acidosolubile ale sîngelui şi ale lichidului tisular, pătrunde în celule şi după aceea apare în fracţiunile nucleoproteidice şi fosfatidice ale celulelor. Astfel prin introducerea în sînge a unui fosfatid în a cărui moleculă se găseşte fosforul r.a., se pot urmări deplasările şi distrugerea moleculelor fosfatidului respectiv în organism în urma apariţiei lor în diferitele organe sau ţesuturi. Introducînd fosfaţi anorganici ce conţin fosfor r.a. acesta apare în diferite ţesuturi tot sub formă de fosfat, fiind utilizat pentru sinteza diferiţilor compuşi fosforici între care se găsesc şi fosfatidele; deci fosforul r.a. este întrebuinţat pentru recunoaşterea intensităţii metabolismului fosfatidelor. Presupunem de ex. că în urma introducerii în organism a fosforului anorganic r.a., o parte din el este utilizat în ficat pentru sinteza fosfatidelor. Vor apare astfel în ficat odată cu moleculele obişnuite şi molecule marcate. Deci în fiecare moleculă-gram de fosfatid va exista o anumită cantitate de molecule marcate. In timpul transformărilor ulterioare alefosfatidelor prin degradarea şi sinteza lor, sînt transformate atît moleculele obişnuite de fosfatide, cît şi cele marcate. Din micşorarea cantităţii de molecule marcate se poate deduce scăderea cantităţii de fosfatide din ficat. Dacă analiza chimică obişnuită ne arată că nu se micşorează cantitatea de fosfatide din ficat, moleculele degradate fiind înlocui-

te de îndată prin altele resintetizate, determinarea cantităţii moleculelor marcate împreună cu analiza chimică obişnuită ne permite să recunoaştem intensitatea reînoirii componentului fosfatidic al celulelor hepatice, adică intensitatea metabolismului fosforic din ficat. S-a admis să nu se considere cantitatea de molecule marcate a unei substanţe date într-un ţesut anumit, în unităţi de măsură privind totalitatea acestor molecule, ci determinînd cantitatea de molecule marcate într-un miligram de substanţă şi să se numească această unitate "activitate specifică". Creşterea acestei activităţi indică formarea de molecule noi, iar descreşterea ei, degradarea substanţei respective. Experienţele de introducere la şobolani de fosfor radioactiv pentru determinarea activităţii specifice a fosfatidelor din diferite organe au arătat că ţesuturile se pot împărţi după intensitatea metabolismului fosfatidic astfel : cel mai intens metabolism are loc în ficat şi mucoasa intestinului subţire, apoi în rinichi, splină, plămîni, muşchiul cardiac şi în oase şi în fine cel mai puţin intens în ţesutul nervos. Astfel în decurs de 4 ore se reînoiesc 10% din fosfatidele intestinului subţire, 7,4% din fosfatidele ficatului, 1,2% din cele ale muşchilor şi 0,9% din creer.

Ficatul are rol important în metabolismul fosfatidelor prin faptul că poate reţine şi înmagazina fosfatidele din sînge şi le poate sintetiza, pentru ca pătrunzînd ulterior în sînge, să fie repartizate diferitelor organe (muşchi).

Cu toată bogăţia deosebită de fosfatide în ţesutul nervos, metabolismul lor în acest ţesut este foarte mic şi sinteza lor este neînsemnată. Sinteza fosfatidelor este legată de procesul de oxidare aerobă a hexozelor, căci lucrînd cu secţiuni din creer se constată că sinteza lor creşte după adăugare de glucoză sau de alte hexoze şi este inhibată de substanţe ce împiedică respiraţia.

Utilizarea fosforului r.a. a permis să se stabilească locul de formare a fosfatidelor. Astfel de exemplu majoritatea fosfatidelor din lapte se sintetizează în glanda mamară.

Dozele mici de radiaţii inhibă activitatea mitotică a celulelor, frînează procesul de sinteză a acizilor nucleinici şi de asimilare a aminoacizilor în măduva osoasă precum şi asimilarea altor substanţe care servesc la sinteza proteinei vii şi

la formarea elementelor figurate ale sîngelui. Deoarece se produce şi o tulburare în procesul de asimilare a fosforului, se inhibă activitatea fosfatazică a organismului şi suferă în mare măsură şi fosfataze celulare. Inhibiţia activităţii mitotice a celulelor măduvei osoase se produce în mod indirect prin intermediul sistemului nervos central cît şi direct asupra măduvei osoase. Procesul de tulburare a hematopoezei se reduce în primul rînd la inhibarea activităţii mitotice şi nu la modificări distructive directe ale celulelor sîngelui.

Toxicitatea şi viteza de eliminare a fosforului r.a. din organism depinde de mai mulţi factori, dintre care cel mai important este regimul alimentar.

Grăsimile r.a. Experienţele efectuate au arătat că în grăsimile organismului se petrece un proces de reînoire chiar şi atunci cînd cantitatea lor rămîne invariabilă. Uleiul de in marcat cu hidrogen greu şi dat animalelor pentru ingerare, a fost găsit după 4 zile într-un procent de 44% în depozitele de grăsime ale organismului fără creşterea greutăţii acestora. Este astfel foarte verosimil că rezerve de grăsime ale organismului se reînoiesc, transformîndu-se incontinuu prin procese de descompunere şi sinteză fără modificarea cantităţilor. In legătură cu acest proces de transformare continuă, moleculele lor traversează cele mai variate organe (de ex. ficatul) suferind transformări chimice. Urmărind transformările unora dintre acizii graşi, s-a aflat că acidul palmitic se transformă mai întîi în acid palmitinoleic şi în urmă în acid miristic şi acid lauric.

Proteinele r.a. se pare că nici moleculele de proteine nu sînt stabile ci sînt sediul unor procese continuie de descompunere şi resinteză. Caracterele lor chimice permanente se datoresc echilibrului acestor procese de sens contrar. Asigurînd un nivel constant de azot r.a. în plasmă prin administrare de acizi aminaţi marcaţi, se stabileşte repede un echilibru între azotul din plasmă şi cel din ţesuturi : o parte din azotul r.a. al plasmei se fixează în ţesuturi iar alţi atomi de azot r.a. se elimină din organism. Acest schimb se petrece în unele ţesuturi (ficat, rinichi, sînge) în 3-4 zile iar în altele (musculatură, inimă, splină) în timp de 1-2 săptămîni. Proteinele ţesutului ro se re-

noiesc 50% în 80 de zile iar cele plasmatice în cîteva zile (8 zile).

În catenele de polipeptide ale moleculelor de proteine este posibilă o substituire permanentă a unor aminoacizi fără ca moleculele de proteine să-şi piardă identitatea lor.

Cu ajutorul moleculelor de proteine marcate s-au urmărit comportarea proteinelor plasmatice la animalele şocate. Pentru aceasta s-au hrănit animalele cu cistină şi metionină ce conţin sulf radioactiv în moleculele lor. Sîngele acestor animale a fost transfuzat apoi la animalele de experienţă.

Proteinele marcate nu dispăreau mai rapid din plasma animalelor în stare de şoc decît în aceea a animalelor sănătoase folosite ca teste de control.

Cu ajutorul izotopilor r.a. se studiază în URSS chimismul ţesuturilor nervoase. Astfel folosirea atomilor marcaţi a permis să se urmărească mecanismul fin al acţiunii acetilcholinei asupra funcţionării cordului, muşchilor şi altor organe.

S-au mai studiat şi alte procese biochimice, fermenţii, vitaminele, bacteriile. Astfel producerea de bacterii şi virusuri r.a. prin cultivare pe medii ce conţin izotopi r.a., permite urmărirea lor la animalele de experienţă.

Alţi izotopi r.a. folosiţi în medicină sînt : cuprul r.a. ce se fixează în ficat, sulful r.a. în articulaţii, cobaltul r.a. şi nichelul r.a. în pancreas, iar arsenul r.a. şi zincul r.a. în organele genitale.

2. În terapie

Cu ajutorul izotopilor r.a. s-a încercat şi diagnosticarea precoce a tumorilor maligne. Aceasta a plecat dela faptul că Ph nucleo-proteidelor din substanţa nucleară se substituie foarte repede cu Ph r.a. al plasmei. Dat fiind că metabolismul nucleoproteidelor celulelor în stare de mitoză (deci şi a celulelor tumorale) este mărit, devine evident că Ph r.a. se va acumula în celulele canceroase într-o măsură mai mare decît în cele sănătoase. Aceasta a fost constatarea care a adus speranţa posibilităţii distrugerii celulelor tumorale.

După unii autori în cazurile suspecte de cancer tiroidian este recomandabilă administrarea de iod r.a. şi detectarea părţilor cele mai radioactive pentru biopsii. Tot aşa cu ajutorul izotopilor r.a. depistarea tumorilor cerebrale reuşeşte cu o exac-

titate de 90%.

Acest succes remarcabil se referă însă la descoperirea tumorilor mai mari, pe cîtă vreme diagnosticul focarelor mici tumorale prezintă greutăţi apreciabile căci de ex. tumorile maligne deşi fixează selectiv fosforul r.a.,selectivitatea nu este specifică numai acestor celule, fiindcă şi celulele sănătoase în mitoză fixează Ph r.a.într-o măsură aproape identică. Înlăturarea acestui inconvenient constituie în prezent o problemă fundamentală încă nerezolvată. Este posibil ca prin cunoaşterea mai aprofundată a proceselor de metabolism tisular al tumorilor, se vor obţine succese. Pînă în prezent se cunosc mai multe iniţiative ingenioase în acest sens. De ex.se ştie că tirozina are rol în sinteza melaninei, iar melanoamele conţin melanină. Introducînd în organism tirozină ce conţine atomi marcaţi de cărbune, această substanţă se va acumula în melanoame şi ar putea face posibilă distrugerea lor sau împiedicarea producerii de melanină. Experienţele au dat rezultate bune, însă aplicarea terapeutică întîmpină piedici prin faptul că tirozina acumulîndu-se în gl.suprarenală (fiind precursoare noradrenalinei), produce leziuni grave în acest organ. La fel este periclitată şi glanda tiroidă. Este foarte interesant şi modul în care izotopii r.a.ajung în sistemul endotelial: izotopii de zinc, chrom şi aur sînt fagocitaţi de macrofagii sîngelui şi transportaţi în celulele reticulo-endoteliale.

Folosirea terapeutică a izotopilor r.a. se bazează pe faptul că radioactivitatea lor nu se deosebeşte esenţial de cea naturală, astfel că pot fi folosiţi la iradierea ţesuturilor în locul radiului sau altor preparate natural radioactive. Aplicaţiile terapeutice cele mai importante sînt cele bazate pe iradierea intratisulară selectivă, căci introduşi în organism pe cale bucală sau injecţii, se fixează electiv pe anumite ţesuturi sau organe de unde iradiază în jur.

Aplicaţiile practice ale izotopilor r.a. în medicină necesită :

- Cunoaşterea caracteristicilor fizice ale izotopului folosit (perioada de înjumătăţire, radiaţiile emise şi energia lor cît şi acţiunea asupra substratului biologic).

- Cunoaşterea metabolizării izotopului r.a.respectiv, a absorbţiei selective şi a eventualei depozitări în anumite ţesuturi sau organe, cît şi

stabilirea căilor şi a timpului de eliminare.

- Cunoaşterea dozelor terapeutice, a căilor şi a condiţiilor optime de administrare.

- Cunoaşterea accidentelor care pot surveni şi asigurarea măsurilor de protecţie pentru a evita accidentele imediate sau tardive care se pot produce în cursul aplicării terapeutice a radioelementului artificial.

Incercările de a trata diferite boli cu izotopii r.a., au dus la precizarea relativă a indicaţiilor terapeutice şi anume :

-Vor fi folosiţi izotopii care prezintă o fixare marcată şi cît se poate de selectivă în organul sau ţesutul bolnav, urmărindu-se prin aceasta o concentraţie a iradierii cu o doză cît mai omogenă în ţesuturile bolnave, cruţîndu-se la maximum ţesuturile sănătoase.

-Vor fi folosiţi acei izotopi ce au o pericadă de înjumătăţire şi un timp de eliminare convenabila; dacă aceşti factori sînt prea mari, iradierea este prea puternică depăşind larg dozele terapeutice şi se distruge pe lîngă tumoarea malignă şi ţesuturile sanatoase; dacă sînt prea mici acţiunea radiaţiilor va fi insuficientă şi tumoarea nu va fi distrusă.

Fosforul r.a. se administrează cel mai obişnuit i.v. cu avantagiul unei mai bune şi rapide fixări fără tulburări gastro-intestinale în comparaţie cu calea orala.

Utilizarea fosforului r.a. prezintă cîteva avantagii : manipulare simplă şi uşor accesibilă şi lipsa bolii actinice. In schimb tratamentul nu poate fi întrerupt în orice moment căci Ph are o viaţă lungă.

Se poate da :

- în doze unice masive (pînă la 10 mC);
- cu doze mici (1-2 mC)repetate la 3-4 zile şi apoi la 15-20 zile;
- doze test-forte (4-6 mC) sau mijlocii (3-4 mC) repetate la 15 zile, fiecare nouă doză fiind dictată de rezultatul hemogramei;
- doze mari iniţiale urmate de doze din ce în ce mai mici şi mai distanţate;
- doze mijlocii (2-5 mC) menţinute în platou timp de 4-8 zile.

Radiofosforul este potrivit pentru terapia bolilor de sînge (leucemii, policitemii, limfogra-

nulomatoză), cancer hepatic, leziuni ale pielii.

In policitemii rezultatul este foarte eficace. O singură doză de 5-6 mC administrat i.m.dă o remisiune de mai mulţi ani, uneori definitivă.

Se cercetează şi originea unor ciuperci epidermice.Aceste ciuperci dispar nu numai sub acţiunea radiaţiilor γ ci şi sub influenţa radiaţiilor β care au o acţiune bacteriostatică. Cultivîndu-se ciuperci epidermice, s-a observat că acestea îşi pierd puterea de creştere şi de înmulţire sub influenţa unor radiaţii foarte reduse ale izotopilor de fosfor.

Izotopii de fosfor şi aur introduşi i.v. se mai întrebuinţează cu succes şi pentru prevenirea metastazelor de după extirparea chirurgicală a tumorilor maligne. S-a încercat şi tratamentul (Petuhova) metastazelor vertebrale din cancerul gl.mamare cu fosforul r.a. şi s-au obţinut ameliorări evidente la examenul radiologic.

Iodul r.a. dă rezultate foarte bune în tratamentul ipertireozelor căci o singură doză de 5-8 mC dă o vindecare în 7% din cazuri. Ameliorarea este evidentă după 14 zile, iar vindecarea este completă şi durabilă după 40 zile, în primele 3 luni ne mai fiind necesar nici un alt tratament. In acest interval se va vedea dacă o singură doză este suficientă. Numai 20% dintre bolnavii trataţi necesită aplicarea unei doze repetate care trebuie să fie jumătate din doza anterioară, iar 8% necesită aplicarea unei doze similare şi a treia oară. Nu s-au constatat efecte nocive nici progresiuni chiar temporale ale stării tireotoxice. Nu se produce exoftalmia malignă.

Se foloseşte în Basedow înlocuind extirparea chirurgicală. Poate fi utilizat ca trasor r.a.pentru identificarea resturilor de tiroidă rămase după extirparea chirurgicală a glandei sau pentru identificarea metastazelor după extirparea tumorii tiroidiene.S-au comunicat cazuri grave de cancer tiroidian cu metastaze confirmate vindecate cu iod r.a. Insă afinitatea extraordinară faţă de iod este o particularitate a ţesutului tiroidian cu funcţia endocrină specifică. Dintre carcinoamele glandei tiroide vor fixa iodul numai acelea care prezintă o diferenţiere foliculară, condiţie ce nu se realizează decît în 10% din tumorile glandei. Tratamentul eficace al carcinomului glandei tiroide necesită doze

foarte mari de iod r.a., doze ce distrug şi ţesutul sănătos al glandei şi provoacă o stare de hipotiroidie. Pentru a asigura o concentraţie satisfăcătoare de iod r.a. în gl.tiroidă, de cele mai multe ori este nevoie de stimularea capacităţii de fixare a iodului prin administrare de hormon hipofizar tireotrop sau creşterea nivelului acestuia prin tratamentul cu tiouracil, etc.

Aurul r.a. Energia lui radiantă se reduce în 10 zile la 10% din energia iniţială, din care după 18 zile rămîne abia 1%. Din radiaţiile emise 95% sînt radiaţii β iar 5% sînt raze γ .Aceste radiaţii au un efect superficial cu o penetrare de maximum 3,8 mm. Datorită acestei proprietăţi, cu o filtrare convenabilă se poate obţine distrugerea ţesutului tumoral fără lezarea ţesuturilor sănătoase dimprejur.

Aurul se poate folosi sub formă de soluţii coloidale local sau se injectează direct în masa tumorală, realizîndu-se o infiltrare a acesteia. Astfel de infiltrări locale s-au făcut în tumorile prostatei, de col uterin, de mamelă, în tumorile inoperabile ale uretrei şi ale vulvei.

Deoarece aurul coloidal este absorbit de vasele limfatice şi ajunge pînă în ganglionii regionali, el are un efect electiv asupra căilor şi vaselor limfatice din jurul tomorii. Deşi prin această metodă va pătrunde abia 10% din substanţa injectată în circulaţia generală, totuşi efectele generale nu sînt cu totul neglijabile. O radioactivitate destul de pronunţată se constată asupra ficatului,oaselor şi splinei. Rezultatele obţinute cu aur r.a. sînt dintre cele mai bune; astfel s-au înregistrat succese în 98% din cazurile de tumori maligne ale prostatei; ţesutul canceros a dispărut şi a fost înlocuit cu ţesut conjunctiv. Totuşi se semnalează şi cazuri complicate cu leziuni hepatice funcţionale, leucopenie, agranulocitoză, fenomene alergice,etc, apărute în cursul tratamentului.

Prin introducerea aurului r.a. în marile cavităţi seroase, a devenit posibil şi tratamentul paleativ a metastazelor carcinomatoase.

Cobaltul r.a. emiţînd radiaţii gama dintre cele mai penetrante,permite iradierea dela distanţă a tumorilor aşezate chiar la o profunzime de 5-15 cm. Rezultatele terapeutice întrec chiar şi pe cele obţinute cu radiu. Cu ajutorul cobaltului r.a. se face telegamaterapia, ce se face cu un aparat de

bombă radioactivă în care sursa de energie radiantă o constituie cobaltul radioactiv ce se obţine uşor şi foarte ieftin în instalaţiile moderne de energie nucleară. El înlocuieşte cu succes substanţele radioactive naturale (radiu, mezotoriu).

Sodiu r.a. fixîndu-se electiv pe leucocite, este folosit în tratamentul leucemiilor.

Calciu şi stronţiu r.a. sînt potriviţi pentru tratarea metastazelor osoase şi chiar a tumorilor osoase.

Protecţie. Persoanele care manipulează izotopii sînt expuse la pericolul unei iradieri, care poate deveni nocivă dacă limitele dozelor de toleranţă sînt depăşite. Pericolul poate fi dat de o iradiere externă sau internă (endogenă) prin pătrunderea şi fixarea radioelementului în ţesuturi (pătrundere prin respiraţie, ingestie, traversarea pielii la nivelul excoriaţiilor sau a micilor leziuni). Pentru înlăturarea acestor pericole sînt necesare unele măsuri generale ce trebuiesc completate cu măsuri individuale.

Intre măsurile generale cele mai importante sînt transportul şi păstrarea radioelementului şi organizarea muncii.

Transportul şi păstrarea se face în cutii speciale, închise ermetic, constituite din două straturi, cel exterior fiind metalic pentru a împiedica ca radiaţiile externe să depăşească doza de toleranţă.

Problemele de organizarea muncii trebuie să prevadă camere speciale şi izolate pentru păstrarea şi administrarea izotopilor, materiale uşor de spălat, ventilaţie suficientă. Bolnavii cărora li se administrează izotopii r.a. vor fi ţinuţi în rezerve separate, mobilate cît mai simplu. Deşeurile şi rezidurile rezultate în urma administrării terapeutice (produsele de excreţie, etc.) vor fi înlăturate cu grije. Astfel se strîng în vase speciale şi apoi aruncate în gropi speciale (nu se aruncă la canal!).

Măsurile individuale care se adresează personalului ce manipulează izotopii, se bazează pe combinarea a trei elemente : distanţa faţă de sursa de iradiere, folosirea diferitelor materiale protectoare absorbante ale radiaţiilor şi o manipulare cît mai rapidă.

Introducerea energiei nucleare în biologie şi terapeutică poate fi considerată alături de descoperirea microscopului şi a razelor X, una din cele

mai mari descoperiri ale ştiinţei. Din zi în zi se deschid noi perspective mai largi şi în prezent sîntem departe de a putea aprecia în de ajuns însemnătatea lor.

Razele cosmice (Hess 1912, Millikan 1923)

Au o lungime de undă cuprinsă între 0,003 Å şi 0,0008 Å.

Millikan are meritul de a fi arătat că ne vin radiaţii electromagnetice din spaţiile interstelare. El ridică pînă la 15.500 m. un balon sondă prevăzut cu un electroscop încărcat şi constată că electroscopul se descarcă. Deasemenea el îl scufundă într-un lac cu apă lipsită de radioactivitate (apa din ninsori şi gheţari) şi constată că la adîncimea de 20 m. (ceea ce corespunde unei grosimi de plumb de 1,8 m.) electroscopul nu se mai descarcă. Prin calcul s-a ajuns că pentru astfel de absorbţie, razele cosmice trebuie să aibă o lungime de undă de o mie de ori mai mică decît razele γ . Pentru a le produce în laborator, ar fi nevoie de un potenţial de peste 130 milioane v.

Ele sînt raze de energie cvantică mare şi ne sosesc în mod egal atît ziua cît şi noaptea, aşa că soarele nu intervine în emisia lor. Ele provin probabil din nebuloasele spirale îndepărtate, unde se întîmplă transformări atomice mai formidabile decît în atomii radioactivi.

După Millikan, sînt de natură electromagnetică. După unele observaţii se poate susţine că razele cosmice ar fi şi de natură corpusculară pe lîngă electromagnetică şi anume : ar fi formate din raze γ foarte pătrunzătoare la care se adaugă, electroni, pozitroni, protoni, electroni grei, etc., toţi cu energie cvantică mare. Se crede astfel că cel puţin 14% din aceste raze, sînt particule încărcate electric.

Dela înălţimea de 30 km în sus, intensitatea razelor cosmice se pare că începe să scadă, aşa că se poate imagina şi o origine a formării pămînteşti, cel puţin pentru o parte din aceste raze.

Deşi razele cosmice au o acţiune sigură asupra vieţuitoarelor, totuşi efectele lor nu au putut fi încă studiate.

Făcînd o recapitulare asupra radiaţiilor e.m. se constată :

După absorbţia unui cuant de energie, electronul este smuls de atom şi va merge cu atît mai repede şi mai departe, cu cît energia absorbită este mai mare. Deci fiecărei radiaţii îi corespunde o diferenţă de potenţial egală cu aceea care trebuie să acţioneze asupra unui electron pentru ca acesta să posede o astfel de viteză încît, prin şocul cu atomul, energia sa cinetică să se transforme într-o radiaţie cu o lungime de undă determinată. Acest potenţial este numit de medici, potenţial de excitaţie, noţiune mai familiară decît cea de cuant de energie. Astfel pentru radiaţiile corpilor r.a.cu o lungime de undă dela 0,001 Å pînă la 0,1 Å avem un potenţial de excitaţie cuprins între 12.300 şi 123 Kv. Pentru razele röentgen de 0,1 Å corespunde un potenţial de 123 Kv.

La această diferenţă de potenţial viteza electronilor este foarte mare, astfel că străbat spaţiile intraatomice perturbînd în drumul lor, atomii ce traversează, le smulg alţi electroni şi se grevează pe alţi atomi, formînd ioni pozitivi şi negativi. Oprirea bruscă a electronului dă naştere prin fenomene inverse, la emisie de raze X sau γ . Pentru razele u.v.: 1000 Å (0,1μ)corespunde un potenţial de 12,3 v.care acţionînd asupra electronului îi comunică o mişcare de repulsie sau atracţie ce este la limita energiei necesare pentru a rupe legăturile ce unesc electronul cu nucleul pentru atomii elementelor uşoare. Pentru 10.000 Å (1μ) la limita vizibilului şi i.r.corespunde un potenţial de 1,23 v. Aceste radiaţii pot să se absoarbă şi să rupă legături mai puţin stabile : acelea care unesc atomii între ei pentru a constitui molecula chimică. La limita undelor herţiene (λ =100μ)corespunde un potenţial de 0,01 v.,potenţial ce nu poate acţiona decît asupra electronilor liberi ai metalelor ce ocupă spaţiile periatomice, fără legături cu atomii. Undele herţiene creiază prin absorbţie un curent electric în conductorii metalici. Invers, pot fi emise de un conductor străbătut de un curent oscilant.

Efectul ionizant al radiaţiilor sub 0,1μ

Se efectuează prin intermediul a trei efecte ce decurg unul din altul :

-efect primar :absorbţia radiaţiilor în atomii elementului chimic şi emisia de fotoelectroni;

-efect secundar : fotoelectronii traversînd spaţiile interatomice, creează ioni;

-efect terţiar : acţiunea toxică a ionilor astfel creeaţi asupra elementelor vitale ale celulei.

Dacă presupunem că potenţialul pentru a smulge un electron este de 12 v.şi dacă o lampă funcţionează sub un potenţial de 1212 v, înseamnă că 1200 v rămîn pentru a da electronului smuls o viteză oarecare. La începutul traiectului său în mediile interatomice, electronul, numit de-acum fotoelectron, are o energie cinetică ce corespunde la 1200 v. Trecînd în apropierea altor atomi, poate smulge alţi electroni, pentru fiecare extragere consumîndu-se 12 v. Dar probabilitatea de smulgere este cu atît mai mare cu cît electronul ionizant merge mai încet. Un fotoelectron rapid născut prin absorbţia unei radiaţii dure va parcurge un drum lung ionizînd un număr mare de atomi, dar va rata foarte mulţi; densitatea ionilor creiaţi în lunga sa traiectorie va fi foarte mică. Un fotoelectron lent, creiat de absorbţia unei radiaţii moi, va ioniza mai puţini atomi dar va ioniza aproape toţi atomii întîlniţi în scurtul său drum; densitatea ionilor creiaţi va fi mare.

Aceste lucruri sînt foarte importante căci explică diferite acţiuni biologice ale radiaţiilor moi şi dure.

Efectul radiaţiilor cu λ superioară lui 0,1 μ

Acţionează asupra celulelor vii producînd numai moartea imediată, caracter distinctiv esenţial între radiaţiile i.r.şi luminoase de o parte şi razele X şi γ de cealaltă parte. Razele u.v. se etalonează de o parte şi de alta.

Aceste raze absorbindu-se, pot modifica molecula creînd compuşi chimici noi, care pot fi şi toxici. Ori toxinele nu pot acţiona în domeniul celular decît provocînd moartea instantanee, niciodată cea întîrziată. Razele herţiene amortizîndu-se în ţesuturi nu pot forma ioni dar pot deplasa ionii preexistenţi sau electronii liberi, realizînd astfel curenţi electrici veritabili ce sînt capabili să încălzească corpul în care sînt sediul şi să acumuleze ioni pe membranele celulare. Acţiunea lor este comparabilă cu acea a curenţilor electrici.

RAZE (UNDE) CORPUSCULARE

Pe lîngă undele studiate pînă în prezent, mai există o categorie de unde ce sînt formate chiar din particole materiale. Din această categorie fac parte :

1. Razele pozitive (canal) a lui Goldştein
2. Razele catodice
3. Razele α şi β ale radiului
4. Razele β secundare
5. Protonii şi neutronii
6. Pozitronii, deuteronii, tritonii, mezotronii, varitronii.

Primele două grupe au fost studiate cu ocazia descărcărilor în gaze rerefiate; grupele 3 şi 4 cu ocazia radioactivităţii; grupa 5 ca făcînd parte din însăşi constituţia nucleilor, iar razele din ultima grupă au fost trecute în revistă la capitolul structurii materiei.

Dintre acestea, singurele care au impportanţă în medicină sînt neutronii care se folosesc de un timp scurt cu mult succes în terapie.

Ca sursă de neutroni este reacţia nucleară produsă prin bombardarea beriliului sau litiului cu deutereni, neutronii obţinuţi fiind accelerraţi într-un ciclotron.

Neutronii neavînd sarcină electrică, au mai multe şanse de a ciocni nucleii atomici ce-i întîlnesc în cale căci trec nestingheriţi prin bariera de potenţial a lui Gamow. Ciocnirea lor cu protonii are caracter elastic, iar efectul produs este o deplasare de protoni, care la rîndul ei produce o ionizare intensă a mediului în care se produce reacţia (este de 100 de ori mai intensă decît cea produsă de razele X de 200 Kv.).

Această ionizare produce efecte biologice foarte intense, astfel că iradierea cu neutroni se poate utiliza cu acelaşi rezultat sau cu unul mai bun în loc de raze röentgen dure, în tratamentul cancerului, în special în formele inoperabile sau netratabile cu raze X. Efectele neutrono-terapiei ar fi de cîteva ori mai intense (doze de 2-5 ori mai mici) decît efectele razelor γ , însă s-a constatat că tumorile canceroase primare sînt mai rezistente la neutrono-terapie decît cancerul cu metastaze.

Măsurile de protecţie trebuie să fie mai severe decît la razele roentgen, iar ca material de protecţie se utilizează apa într-un strat gros de 1,5 m.

Acţiunile biologice ale radiaţiilor ionizante

Radiaţiile ionizante găsesc o utilizare din ce în ce mai mare. Insuficienţa cunoaşterii efectelor acestor radiaţii cît şi caracterul absolut special al reacţiunilor vieţuitoare sub acţiunea acestor agenţi, fac să se impună aprofundarea acestui capitol.

Prin radiaţii ionizante se înţeleg : razele röentgen, cosmice şi gama din grupul celor electromagnetice şi razele α , β emise de dezintegrările radioactive precum şi fluxurile de particole rapide produse în mod experimental (protoni, electroni, neutroni, etc.)din grupul celor corpusculare.

In funcţie de modul de expunere la radiaţii putem avea iradierea externă şi internă.

In primul caz este vorba de expunerea întregului organism sau a unei părţi din el la radiaţii (în special razele X şi substanţele radioactive). Efectul depinde de mai mulţi factori ca : suprafaţa corporală atinsă, cantitatea de radiaţii primite, felul lor, etc. De ex. în ce priveşte eficienţa agenţilor ionizanţi, aceasta variază pentru fiecare dintre ei, fiind legată de iuţeala, masa, cantitatea de electricitate şi penetrabilitatea respectivă.Astfel în baza puterii ionizante, ele pot fi grupate după următoarea clasificare relativă : raze γ =1; neutroni = 6-8; particole β =100; particole α =10000 Insă o astfel de clasificare nu ia în considerare enormele diferenţe ale puterii de pătrundere ale acestor radiaţii : particolele α sînt foarte puţin penetrante fiind oprite de o foaie de hîrtie, în timp ce razele γ au cea mai mare penetrabilitate.

Iradierea internă este realizată prin pătrunderea în organism pe diverse căi (aparat respirator : inhalaţii; tub digestiv : ingestie ;direct în sînge : injecţii; prin piele : transcutanat sau printr-o soluţie de continuitate) a substanţelor radioactive naturale sau artificiale. Efectele variază nu numai după doza de element radioactiv introdus dar şi în funcţie de metabolismul substanţei respective care duce la fixarea sa în anumite organe. Efectele mai depind şi de durata radioactivităţii elementului respectiv, deci şi de viaţa sa. Din această cauză elementele care au o viaţă mai lungă şi se fixează în ţesutul osos (radiu, plutoniu, stronţiu) sînt mai periculoase. In principiu este necesară o perioadă de timp egală cu

6-8 semivieţi pentru epuizarea acţiunii unui izotop. Nocivitatea mai depinde şi de tipul radiaţiei emise. Ca acţiune secundară se poate adăuga nocivitatea (toxicitatea) proprie din p.d.v.chimic(de ex.galiu).

Din punct de vedere a acţiunii fizico-chimice şi biologice, se deosebesc trei feluri de acţiuni ale radiaţiilor ionizante :

-Acţiunea directă prin care radiaţia respectivă produce excitarea sau ionizarea, direct în molecula substanţei asupra căreia acţionează.

-Acţiunea indirectă prin care ionizarea se face în molecula solventului, ionizarea acestuia ducînd la formarea unor radicali liberi şi a unor combinaţii chimice intermediare care reacţionează cu moleculele dizolvate (proteine şi alţi acceptori dizolvaţi în apă). Deci acţiunea directă antrenează modificări umorale ce pot acţiona apoi secundar asupra întregului organism.

-Acţiunea la distanţă se produce numai în organismele vii şi constă din efecte ce apar într-un ţesut neiradiat dintr-un organism iradiat parţial. La organismele pluricelulare această acţiune se face pe cale neuroumorală.

Acţiunea directă este datorită interacţiunii directe dintre radiaţii cu substanţa vie, cu schimb de energie şi anume se perturbă învelişurile electronice ale atomilor întîlniţi în drum (lăsînd în urma lor o dîră de ioni, aşa cum se întîmplă în cazul particolelor încărcate). Se admite astfel că originea alterărilor celulare este ionizarea produsă de fotoelectronii smulşi din atomi, sub acţiunea radiaţiilor incidente. Fotoelectronii emişi cu o viteză cu atît mai mare cu cît lungimea de undă incidentă este mai mică, provoacă prin ciocnire, ionizarea moleculelor întîlnite în parcursul lor. Aceşti ioni difuzînd,se unesc cu substanţele coloidale a substanţei vii şi prin sarcina lor, se perturbează profund substanţa coloidală. Acţiunea are loc în primul rînd asupra moleculelor de albumină, din care se poate scoate unul sau mai mulţi electroni, putîndu-se obţine sfărămarea moleculei dacă este atins un electron de legătură.

Calitatea radiaţiei întrebuinţate are importanţă numai în ce priveşte puterea de pătrundere în profunzime şi nicidecum în ce priveşte acţiunile biologice. Tot aşa se petrec lucrurile indife-

rent de voltajul întrebuinţat. De ex. dacă supravoltajul ar avea drept scop sfărămarea nucleului atomic, ar trebui energii extrem de mari, dar în acest caz înainte de a se distruge nucleii atomici se vor sfărăma complet moleculele de albumină şi celula va muri : catastrofa biologică a celulei va avea loc înaintea celei nucleare. De aci se deduce uşor că acţiunea biologică a razelor nu se exercită niciodată asupra nucleului atomic ci numai asupra electronilor periferici. Aşa dar intensitatea acţiunilor biologice depinde de cantitatea razelor şi nu de calitatea lor(de lungimea de undă).

In ultimii ani în literatura occidentală a fost răspîndită teoria aşa numită a "ţintei" la baza căreia se află concepţia, dusă pînă la extrem cu privire la acţiunea directă a radiaţiilor ionizante asupra organismelor. Conform acestei teorii, structura chimică a celulei poate fi considerată ca o combinaţie de multe molecule mari,fiecare dintre ele avînd un număr mare de lanţuri laterale şi legături chimice care menţin molecula intactă. Dacă o funcţie biologică specială are ca substrat un singur lanţ lateral şi dacă legătura care ţine acest lanţ este ruptă, fiziologia normală a celulei afectate este alterată. O singură particolă ionizantă poate astfel interfera cu o serie întreagă de procese biologice dintr-un ţesut. Acest mecanism de acţiune ar putea explica întinderea lezării tisulare produse de radiaţiile ionizante care altfel ar fi destul de greu de înţeles, dat fiind numărul relativ mic de ioni produşi în ţesuturile vii. Studiind acţiunea radiaţiilor asupra celulelor, se constată că nucleul este partea din celulă care este atinsă întîi. Dovadă că celulele fără nucleu pot suporta o doză de radiaţii de 10-20 de ori mai mare fără a fi distruse. Experienţele au confirmat faptul că razele X şi γ sînt un adevărat toxic nuclear. Cele mai tipice leziuni le prezintă cromozomii din nucleu ce sînt modificaţi ca formă şi densificaţi : picnoza nucleului. Această leziune duce mai întîi la suprimarea funcţiei de înmulţire şi după un timp oarecare, la moartea celulară. Nucleul se măreşte, se formează celule gigante din unirea mai multor celule. Unirea se face din cauză că la unele celule se distruge membrana iar la altele se modifică permeabili-

tatea ei şi anume sub acţiunea radiaţiilor, membrana capătă o mărire a permeabilităţii ce are drept scop o modificare a schimburilor de substanţe ce se fac prin intermediul membranei. Protoplasma suferă şi ea modificări : devine tulbure, capătă o degenerescenţă vacuolară, hialină şi uneori grasă sau amiloidă. In teritoriul iradiat are loc şi o acidifiere a ţesuturilor. In funcţie de cantitatea de radiaţii, celula se îmbolnăveşte dar se poate apoi vindeca. La un grad mai mare de îmbolnăvire se poate căpăta o alterare durabilă a ţesuturilor apoi moartea celulară şi în fine, pentru doze excesive, se produce o necrobioză a oricărei specii celulare. Cînd doza este neindestulătoare ca să producă necroza celulară, poate apare o acţiune inhibitoare ce constă din întîrzierea multiplicării prin suspendarea temporală a funcţiei de reproducere. Astfel că dacă se studiază ritmul mitozelor şi influenţa acestor radiaţii asupra lor, se constată :

-dispariţia aproape imediată a cariochinezelor existente,

-urmează o fază de repaus (de amitoză),

-reapar cariochinezele dar sînt degenerate.

Teoria ţintei este injustă prin faptul că bazîndu-se pe nerespectarea legii proporţionalităţii dintre energia radiaţiei absorbite şi efectul biologic observat, presupune că în celulă sau în organismul pluricelular există o regiune, un domeniu, extrem de sensibil, de dimensiuni foarte mici. Admiterea existenţei unui domeniu sensibil cu limite distincte în ţesutul viu şi opunerea acestui domeniu cu restul masei substanţei vii, apropie teoria ţintei de concepţia ideoplasmei a lui Weissmann şi denotă fondul idealist al concepţiilor care se află la baza acestei teorii.

In contradicţie cu teoria ţintei se află reacţia generală primară a întregei protoplasmei celulare căci acţionînd cu doze mari de raze X în scurt timp, se observă o serie de reacţii primare atît trecătoare cît şi ireversibile ale protoplasmei vii, fapt care arată că la doze mari în întreaga structură şi stare a protoplasmei, inclusiv chondriomul şi aparatul vacuolar, au loc modificări ale tuturor componentelor celulare ce sînt determinate probabil de sensibilitatea diferită a diverselor componente structurale şi chimice ale celulei.

Teoria ţintei este infirmată de mai mulţi factori experimentali : prin slăbirea acţiunii indirecte, mai

faptul că variază sensibilitatea la radiaţii în funcţie de varierea factorilor exteriori /temperatură,etc/ şi prin observarea unor substanţe chimice radiomimetice, adică care reproduc asupra obiectelor biologice influenţa radiaţiilor ionizate /yperita, azotul, peroxizi,etc/. Astfel este esenţial faptul că unii agenţi fizici şi chimici modifică în limite largi, acţiunea biologică a radiaţiilor ionizate.

Acţiunea indirectă presupune ionizarea moleculelor solventului şi acţiunea ulterioară a produşilor de descompunere a apei asupra substanţei vii ; ca rezultat al ionizării are loc scindarea moleculelor de apă cu formarea de hidrogen atomic liber şi radicali de OH.

In cazul unei slabe densităţi a ionizării, se pot forma cantităţi neinsemnate de H_2 şi H_2O_2 , dar în prezenţa O_2 disolvat în apă apare radicalul HO_2 care favorizează şi el formarea de H_2O_2. In cazul unei densităţi mari de ionizare, formarea de H_2O_2 se face şi în lipsa lui O_2, probabil ca rezultat al interacţiunii dintre radicalii de OH. Dacă în apă există substanţe uşor oxidabile cum ar fi enzimele şi în special cele cu radical sulfhidric cu grupe SH libere, are loc oxidarea lor probabil prin reacţii cu radicali liberi cu caracter oxidant /OH,O_2H/.

O confirmare a acţiunii indirecte o constituie, între altele, aşa numitul "efect de protecţie" : dacă într-o soluţie apoasă a unei enzime sensibilă la radiaţiile ionizate introducem o substanţă capabilă de a reacţiona cu radicalii liberi apăruţi ca rezultat al iradierii apei, se observă o micşorare a acţiunii radiaţiilor asupra enzimelor /glutationul redus asupra enzimelor sulfhidrice, glucoza pentru cholină, etc/.

Acţiunea locală indirectă se face prin intermediul substanţei fundamentale. Iradierea ar disocia în plasma ce scaldă celulele, o substanţă toxică ce ar lucra la rîndul ei asupra celulelor imediat vecine. Astfel s-a dovedit că ori cîte şocuri ar primi un ţesut canceros, tot rămîn celule tumorale ce nu sînt atinse de radiaţii şi totuşi o bună parte din tumorile maligne pot fi distruse total şi definitiv prin radiaţii. Trebue deci să intervie şi o acţiune "indirectă" care să distrugă celulele neoplazice rămase în viaţă. Această acţiune este atribuită ţesutului conjunctiv dela nivelul tumorii.

Acţiunea la distanţă. La trecerea dela organisme monocelulare la cele pluricelulare şi mai ales la cele superioare, aspectul efectului datorit radiaţiilor se schimbă esenţial. Indiferent de faptul dacă acţiunea este generală sau locală, organismul răspunde ca un tot legat de mediul exterior. In cazul unei acţiuni locale a radiaţiilor, între părţile iradiate şi cele neiradiate se formează relaţii noi şi apare o interacţiune determinată pentru desvoltarea şi regenerarea leziunilor produse. Astfel s-a demonstrat că prezenţa unor zone neiradiate într-un ţesut iradiat slăbeşte tendinţa de inhibare a capacităţii de regenerare, micşorind foarte mult efectul iradierii. Insă la cantităţi mari de iradiaţii poate apare şi influenţa inversă a ţesuturilor iradiate asupra celor neiradiate, leziunea răspîndindu-se, fapt care a fost pus pe socoteala disiminării unor substanţe toxice ce apar în ţesutul iradiat. S-a stabilit influenţa la distanţă asupra diferitelor organe care au fost protejate de radiaţii. Astfel la şobolanii bolnavi de cancer, în tumorile neiradiate se micşorează sau încetează în întregime sinteza acizilor nucleici ca rezultat al iradierilor unor alte tumori, a ficatului sau chiar a unor părţi foarte îndepărtate /de ex. iradierea unor extremităţi posterioare la iepure, produce modificări în creer, măduva osoasă, glande suprarenale, etc/.

Prezenţa unei influenţe indirecte este condiţionată de variaţiile din mediul interior, fapt demonstrat şi de o serie de alte fenomene care se dezvoltă în regiunile mai îndepărtate ale corpului. Ca astfel de exemple pot fi citate : variaţia pH-ului sanguin, a tensiunii, a numărului de elemente figurate, a timpului de coagulare, a vitezei de sedimentare, a conţinutului glicemic, variaţiile metabolismului glucidelor şi glandelor sexuale, degenerescenţa adipoasă a ficatului, etc.

Toate aceste fapte vorbesc despre faptul că la animalele superioare, în speţă la mamifere, efectul esenţial poate chiar principal al iradierii, este de natură extracelulară, fiind determinat şi reglat la apariţia sa şi în decursul său, de întregul organism.

Procesul de bază al alteraţiilor biologice care au loc în organismul viu este acelaşi din p.d.v.calitativ, indiferent de natura radiaţiilor ionizate şi este proporţional cu ionizarea pro-

dusă în celulele ţesutului. Deaceea, leziunile rezultă numai cînd radiaţiile eliberează ioni în masa materiei vii. Se ştie că ionizarea constă în îndepărtarea unui electron de pe o orbită. Acest proces se poate efectua prin bombardare cu particole nucleare sau cu raze provenind dintr-o sursă radioactivă. Deaceea aceste particole sau raze sînt numite ionizante sau agenţi ionizanţi, fie că sînt încărcate cu electricitate (particole α , ,protonii, etc.) sau neîncărcaţi (neutronii, raze X şi γ). Agenţii ionizanţi cu încărcătură electrică acţionează direct în ce priveşte producerea ionizării pe cînd celelalte dau naştere la electroni secundari (raze X şi γ) sau protoni-nuclei de recul (neutronii). Ionizarea explică lezarea ţesuturilor vii prin transferul de energie dela agentul r.a.la ţesut,iar modificările produse de aceste radiaţii sînt reversibile sau nu, în funcţie de dozaj; niciodată însă radiaţiile nu sînt stimulente pentru un ţesut.Dacă ţesutul iradiat este capabil să reproducă unităţile funcţionale distruse, el se va vindeca fără urmări; în lipsa acestei capacităţi vindecarea are loc prin formare de cicatrice.

In organismele superioare şi în special în cel uman deşi efectul total asupra celulelor joacă rolul dominant în leziunile tisulare produse, intervine şi factorul reprezentat de interacţiunea diverselor grupe de ţesuturi interesate sub conducerea sistemului nervos central (etajul superior) atît în ce priveşte limitarea leziunilor cît şi la refacerea acestora. In consecinţă organismul uman poate fi expus repetat la intensităţi de radiaţii ce distrug multe celule individuale fără a produce însă o lezare permanentă, dacă între expuneri există o perioadă de timp suficientă pentru recuperare şi dacă niciuna din expuneri nu este atît de mare încît să depăşească posibilităţile de vindecare.

Rezultă de aici că există diferenţe marcate în ceea ce priveşte sensibilitatea la iradiere a diverselor specii din scara zoologică şi astfel este o greşeală de a se aplica integral la fiziologia umană interprestările obţinute la animale.Există deasemeni variaţii mari de sensibilitate ale ţesuturilor umane faţă de acţiunea radiaţiilor ionizante, cele mai receptive fiind ţesuturile bogate în apă şi care posedă un metabolism oxidativ mare, deci cele tinere, cu creştere rapidă.

Reamintim că o astfel de scară a receptivităţilor am arătat-o pentru razele röentgen , scară care îşi păstrează importanţa şi pentru celelalte radiaţii ionizante. In ceea ce priveşte tipul general de lezare produsă, el este acelaşi în cazul unei iradieri externe sau interne căci acţiunea biologică a unei radiaţii este dependentă de numărul de ioni formaţi pe gram de ţesut, acest număr fiind în funcţie de cantitatea de radiaţie şi nu de calitatea ei. Din punct de vedere biologic eficacitatea unei doze depinde de ionizarea specifică produsă în ţesut, ionizare care variază după cum am văzut de felul radiaţiei. Aceasta înseamnă că în doze fizice identice,acţiunea biologică prezintă mari variaţii cantitative. Astfel, acţiunea unui neutron este de 10 ori mai mare decît aceea a unei cantităţi egale din p.d.v. fizic, de raze röentgen. A apărut astfel necesitatea introducerii pe baza eficacităţii biologice relative a unei unităţi de măsură.

Pentru razele X şi γ unitatea reprezintă cantitatea din această radiaţie care pentru emisiunea corpusculară asociată în 0,001293 g aer produce în aer ioni transportînd o unitate electrostatică de cantitate de electricitate de ambele sensuri. In cifre de energie un r reprezintă 83,8 ergi eliberaţi ca ionizare pe gramul de aer. Pentru neutron s-a făcut o unitate similară lui r bazată deci pe efectul ionizării în aer. Această unitate r este numărul de neutroni care produce acelaşi efect asupra unei camere de ionizare.

In ultimii ani s-a încercat să se raporteze unitatea r şi la efectele în ţesuturi întrucît unitatea este măsurată prin definiţie, în aer.Pentru aceasta s-a introdus unitatea rep.definită prin cantitatea de radiaţie ionizantă care produce într-un gram de ţesut,în aceleaşi condiţiuni o absorbţie de energie de 83,8 ergi. Se înţelege necesitatea unei astfel de unităţi dacă se ţine seama că numărul de ergi produs de r în gramul de ţesut variază foarte larg mergînd dela 42 ergi (pentru ţesutul grăsos) la 880 ergi (pentru os),în cazul razelor X moi. Această cantitate de energie absorbită (de 83,8 ergi/gram)defineşte la rîndul ei unitatea de doză absorbită numită rad. In ce priveşte efectul asupra ţesuturilor unitatea n (pentru neutroni) echivalează cu eliberarea a 190 ergi.

A apărut astfel unitatea rem introdusă pe baza eficacităţii biologice relative care se obţine din înmulţirea dozei absorbite exprimată în d, cu eficacitatea biologică relativă. In cazul neutronilor,un rep corespunde la un rad şi la 10 rem, pe cînd pentru razele X un r = 1 rep = 1 rad =1 rem. In concluzie s-a stabilit că agenţii de natură diferită produc modificări specifice ale protoplasmei. Astfel radiaţiile de mare energie posedă o specificitate apreciabilă în ceea ce priveşte acţiunea lor asupra organismului fapt care determină uneori metoda de utilizare a acestui factor în terapeutică. Specificitatea acţiunii biologice a radiaţiilor ionizate este determinată de natura fizică a acestor agenţi şi de caracterul special al interacţiunii lor cu substanţa vie. Totuşi trebue să avem în vedere următoarele fapte :

1/diferitele componente ale protoplasmei ca şi diversele elemente tisulare au o sensibilitate diferenţială, fapt care duce la o încetare selectivă sau distrugerea în primul rînd a unor anumite funcţii celulare precum şi a unor procese în întreg organismul.

2/existenţa unei lungi perioade latente şi dezvoltarea îndelungată a leziunii fac ca,variaţiile morfologice exterioare perceptibile să se observe după un anumit interval de timp dela iradiere, iar afecţiunile datorite iradierii să se menţină timp îndelungat.

3/reversibilitatea înceată a leziunilor.

4/în prezenţa acţiunii dăunătoare nu se observă o acţiune stimulantă concomitentă bine stabilită a acestor agenţi. Faptele care se aduc în sprijinul acţiunii directe stimulante, pot fi considerate ca fiind datorite unui efect secundar produs de această leziune.

5/marea putere de penetrabilitate caracteristică pentru unele forme de radiaţii ionizate.

6/îmbolnăvirile profesionale prin acţiunea radiaţiilor ionizate au de obicei un aspect cronic, fiind datorite expunerilor îndelungate şi în mod repetat la doze mici de radiaţii. Dar excepţional poate apare şi sindromul acut, în urma unui accident.

Acţiunile generale ale radiaţiilor apar de obicei după iradieri profunde şi ele constituesc simptome de intoxicaţii generale cunoscute sub numele de "boala razelor".

Aceste tulburări generale se manifestă prin următoarele simptome :

-tulburări subiective ce apar în scurt timp după iradiere :lipsă de apetit,greaţă,vărsături, dureri de cap,oboseală,rar diaree. Durează 1-15 zile. Cînd doza se administrează fracţionat pot să nu apară astfel de tulburări.

-modificări plasmatice. Apa din sînge creşte în prima oră după iradiere, diluare ce apare din cauza luării apei din ţesuturi. In ora a doua se produce o concentrare a sîngelui. Tot în sînge modificări importante se fac asupra albuminelor şi anume : în stare normală creşte serumalbumina şi scad serumglobulinele. In stare patologică lucrurile se petrec invers. Scurt timp după iradiere apare şi o hiperglicemie.

-elementele figurate ale sîngelui. Razele acţionînd asupra izvoarelor sîngelui, vor fi influenţate în prima linie celulele tulpină ale leucocitelor. La început are loc o scădere bruscă a numărului acestora, urmată de o leucocitoză neutrofilă în primele 24 de ore. După aceea are loc o micşorare durabilă a numărului leucocitelor. Căderea iniţială este un efect nervos şi aparţine fenomenelor hemoclazice. Leucocitoza ce apare apoi este tot reflexă. Ultima fază este datorită lezării prin raze a ţesuturilor hematopoetice.

In cazul globulelor roşii, la început este o sporire aparentă datorită îngroşării sîngelui ;apoi scade numărul lor şi cantitatea de hemoglobină. Pericolul lezării eritrocitelor rezultă nu atît din iradierea lor directă /căci sînt destul de rezistente/, ci din paralizarea funcţiei măduvei osoase, putînd apare o anemie aplastică gravă.

-asupra sistemului nervos vegetativ. Sub acţiunea radiaţiilor au loc modificări în excitabilitatea vagului. Tabloul clinic al răului de raze se datoreşte acestei excitabilităţi crescute.

Pentru aspectul clinic hotărîtoare este în primul rînd doza şi apoi regiunea interesată /este mult mai periculoasă expunerea abdomenului/ în raport cu doza primită şi toleranţa organismului, sindromul acut de iradiaţie îmbracă aspecte d.p.d.v. clinic se împarte în trei grupe :

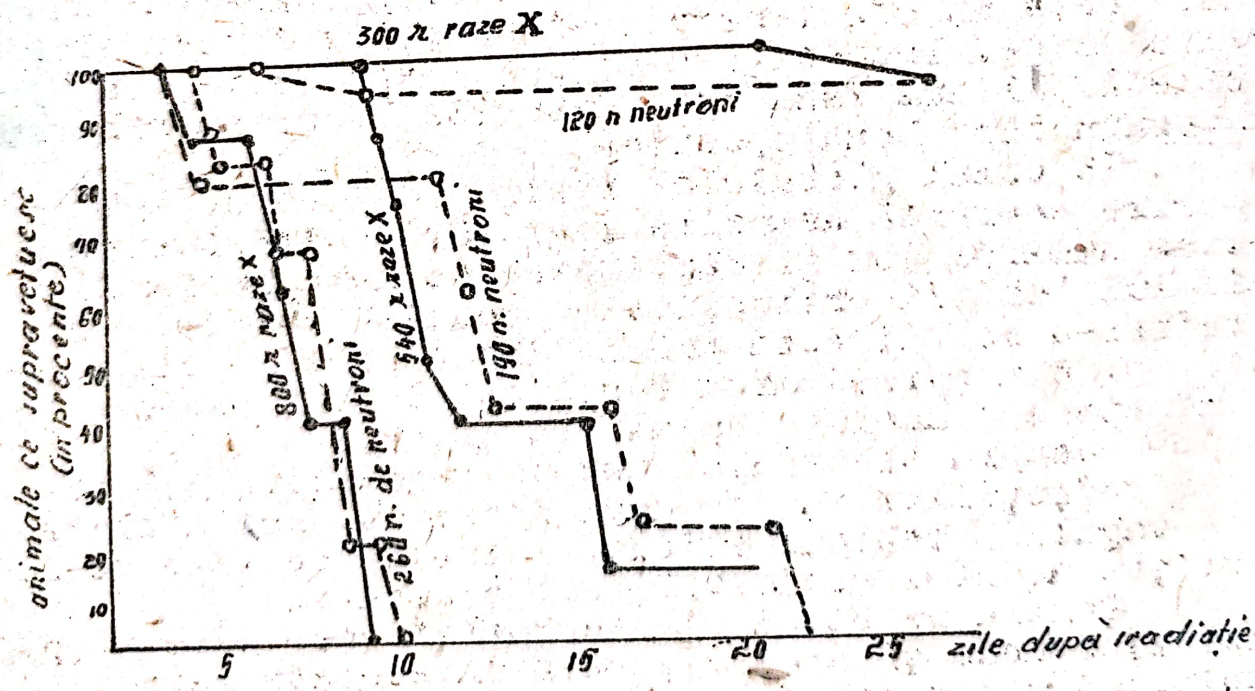
-grupa I cuprinde persoanele ce au primit o doză mai mare de 500 r. La aceste persoane se instalează din primele ore o stare gravă cu astenie, senzaţie de rău,greaţă, vărsături, diaree, nelinişte

sau depresiune. Evoluţia bolii care oricum este fatală 100% poate merge spre exitus în primele zile printr-o epuizare progresivă, sau se poate produce o remisiune spontană de 2-3 zile după care simptomele de mai sus reapar cu o mai mare intensitate şi bolnavul sucombă.

-grupa a II-a cuprinde persoanele ce au primit o doză de cca.400 r. Mortalitatea este de 50%, evoluţia decizîndu-se în 3-6 săptămîni. Simptomele sînt aceleaşi ca şi în primul caz, numai cu o mai mică intensitate. Complicaţia frecventă şi cea mai de temut este infecţia cu germeni patogeni sau saprofiţi a cărei pericol începe după a doua săptămînă şi atinge punctul maxim către a 20-a zi dela iradiaţie. Moartea poate surveni între a 4-a şi a 6-a săptămînă.

-grupa III cuprinde persoane ce au primit o doză sub 300 r. Au un prognostic cu atît mai bun cu cît doza este mai mică. Simptomul cel mai frecvent este diareea uneori cu caracter incoercibil. Modificările sanguine şi epilaţia sînt moderate şi se repară în cîteva luni.

Figura de mai jos ne arată acţiunea relativă a neutronilor şi a razelor X în ce priveşte producerea efectelor biologice. Figura ne indică supra-



vieţuirea organismelor dintre care, unele au fost expuse la cantităţi variabile de raze neutronice, altele la diverse intensităţi de raze X. Se vede că dozele de 120 n neutroni şi 300 r raze X nu produc practic o creştere a mortalităţii căci 95% din

animale (drosofila) trăiau după 30 de zile. Dacă se creşte doza, tara morbidităţii creşte considerabil astfel că animalele ce au primit 800 U.r de raze X sau 260 n de neutroni mureau toate pînă în ziua a 10-a după iradiere. Factorul care leagă efectele mortale de 1 n neutron şi 1 r de raze X pare a fi în acest caz, de cca 3 la 1, dar valoarea acestui raport variază cu animalul de experienţă şi este mai ridicat la organismele ce conţin mai mult hidrogen.

Trebuie acordată o atenţie mare pentru protejarea profilactică şi terapeutică a organismelor animale împotriva acţiunii radiaţiilor ionizante. Cercetările întreprinse au arătat că organismele care conţin un procent scăzut de oxigen, sînt mai puţin vulnerabile la radiaţii. Printre substanţele care reduc conţinutul de oxigen în ţesuturi sînt : oxidul de carbon, heroina, morfina, adrenalina. Dacă un organism protejat de una din aceste substanţe este supus acţiunii radiaţiilor, atunci el este mai puţin afectat de radiaţiile ionizante. După cum se ştie în organism există organe şi ţesuturi foarte sensibile la radiaţii (măduva osoasă, splina, etc.) care se distrug repede la acţiunea acestor radiaţii. Introducerea i.v. a unei emulsii de măduvă osoasă provenită dela un animal de aceeaşi specie, grăbeşte simţitor refacerea sistemului hematopoetic după ce acesta a suferit acţiunea unor radiaţii.

Toate aceste fapte sînt menite să soluţioneze metoda de elaborare a metodelor cele mai raţionale de protejare a organismelor împotriva efectelor nocive ale radiaţiilor ionizante.

ELECTRICITATEA ANIMALA

Producerea electricităţii de fiinţele vii.

Printre formele pe care le imbracă energia în fiinţele vii, niciuna nu merită o aşa de mare atenţie ca electricitatea, nu atît din cauza intensităţii manifestărilor ei, care de obicei sînt minime, ci din cauza legăturilor strînse pe care le are cu reacţiile vitale, căci puţine fenomene prezintă o aşa de mare generalitate cu materia vie.

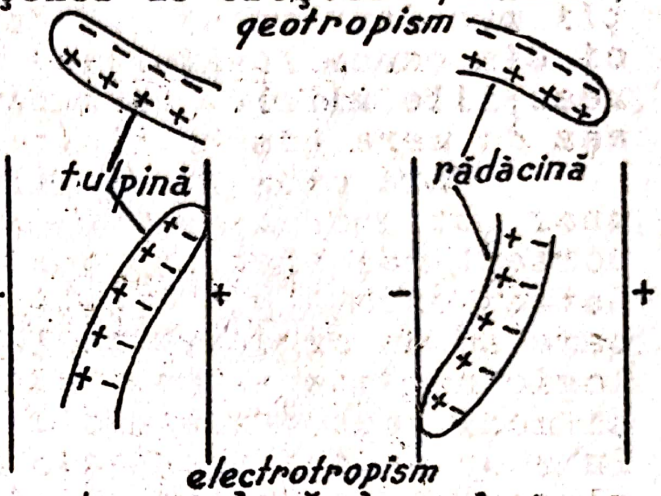
Fără nici o îndoială, orice celulă este sediul unor acţiuni electrice, fenomene care joacă rol important mai ales în momentul diviziunii celulare. Astfel există unii peşti /torpila, gymnotus, etc./ care au un organ electric. Acesta din p.d.v. embriologic nu este altceva decit un muşchi transformat şi modificat. Printr-o acţiune reflexă sau voită, în scop de apărare, aceşti peşti produc o descărcare electrică ce durează 0,23" şi care este compusă din mai multe oscilaţii. Descărcarea are o intensitate de 1-7 Amp. sub o tensiune de 8-17 v. In circuit deschis t.e.m. a organului electric depăşeşte 300-450 v. Alte ţesuturi emit radiaţii mitogenice : soluţiile enzimatice, fosfatazele, maltaza, sucraza, ureaza, etc. Deasemenea sîngele circulant sau extras din corp /chiar hemolizat/ emite astfel de radiaţii, care lipsesc însă în anumite boli ca anemia pernicioasă. Tumorile suprimă complet aceste radiaţii, fapt care poate fi un mijloc de diagnostic precoce. Radiaţia sanguină este datorită proceselor enzimatice ce au loc în sînge şi care pot dispare pentru 1-2 ore după un travaliu prelungit. Aceste procese au loc în sîngele canceroşilor, numai că radiaţiile sînt complet absorbite de unele substanţe ce există în sînge. Tumoarea canceroasă este ea însăşi sediul unei radiaţii mitogenetice intense ; dacă se compară aceasta cu aceea a unui ţesut normal cum ar fi corneea, se constată o deosebire foarte importantă: sacrificînd animalul, amîndouă radiaţiile încetează după circa 1' dela oprirea circulaţiei sîngelui, dar dacă se spală tumoarea cu o soluţie de glucoză, radiaţia reapare, în timp ce pentru cornee nu.

Geotropismul. Dacă se aşează orizontal o rădăcină sau o tije tînără, partea superioară devine electric negativă, iar cea inferioară pozitivă, fiind vorba de cîţiva mv. şi care s-ar datora unei

difuziunii a ionilor printr-o membrană solidă, datorită gravităţii.

Rădăcina de Vicia Faba aşezată într-un cîmp electric, se recurbează spre polul negativ ; o tije tînără de Avena sativa, se apropie de polul pozitiv.

Descoperirea substanţelor de creştere /auxine/ la unele plante a dat o altă direcţie cercetătorilor. S-a demonstrat că la tijele tinere puse orizontal, gravitatea produce o deplasare asimetrică a curentului substanţelor de creştere spre 1/2 inferioară, cantitatea totală rămînînd invariabilă. Se ştie că alungirea organelor aeriene ale plantei este produsă de substanţele de creştere care împedică pe cea a rădăcinilor. Astfel curbele pozitive şi negative datorite geotropismului se explică dacă se admite că partea inferioară a rădăcinei se îmbogăţeşte în auxine cînd este aşezată orizontal. Rămîne de văzut care este cauza acestei repartiţii inegale a auxinei. Probabil că la plantele excitate de gravitate se produce o transformare a echilibrului electric : toate părţile plantelor aşezate orizontal, au suprafeţele exterioare electric negative. Se admite că hormonul /auxina/ este deplasat de cataforeză spre suprafaţa inferioară pozitivă, lucru posibil căci auxina are caracterul unui acid monobazic al cărui constituent fiziologic activ este anionul încărcat negativ.



Dacă se lasă să difuzeze de fiecare parte a unui organ vegetal aşezat vertical, electroliţi de diverse concentraţii, se stabileşte o diferenţă de potenţial : în cazul sărurilor alcaline, cel mai puţin concentrat este electropozitiv. Va apare un tropism, rădăcina curbîndu-se spre polul pozitiv /sol.diluat/. Tija se comportă invers. Rădăcinile şi tijele decapitate nu reacţionează. Aceste fenomene sînt cu totul asemănătoare geotropismului.

Multe organe sau animale prezintă fenomenul de

galvanotropism. Astfel tentaculele şi manubriul unei meduze, se îndreaptă spre polul negativ dacă se trece un curent slab prin lichidul în care trăieşte. Dacă se produce în condiţii analoage o structură artificială de ferocianură cuprică, ea va creşte în direcţia polului negativ.

Studiul curenţilor electrici biologici prezintă mari dificultăţi, dar este din contra foarte simplu de a pune în evidenţă diferenţele de potenţial în starea electrică a două regiuni ale aceluiaşi organ.

Pentru studiul acestor curenţi, trebuiesc luate cîteva precauţiuni şi anume :

a) Electrozii ce se aplică pe ţesuturi să nu fie metalici, căci prin contactul cu lichidele organismului, ar dezvolta forţe electromotrice contrare, egale sau chiar superioare potenţialelor pe care voim să le cercetăm, iar pe de altă parte, trebuie ca electrozii să fie străbătuţi de curent fără să dea naştere la t.e.m. de polarizare. Aceste deziderate sînt îndeplinite prin întrebuinţarea electrozilor impolarizabili, de care deja am vorbit.

b) Instrumentele de măsură trebuie să aibă o sensibilitate mare, căci am spus mai sus, că t.e.m. biologice sînt întotdeauna foarte mici, cuprinse între 1/100-1/100.000 v. Deasemenea trebuie să aibă o inerţie cît mai mică, pentru a putea urmări cu rapiditate variaţiile de curent care le traversează.

Fenomenele bioelectrice constituie obiectul unei atenţii deosebite din partea fiziologilor şi a medicilor dat fiind că ele reflecă cu mare precizie modificările funcţionale ale ţesuturilor şi organelor în stare normală şi patologică. Electrofiziologia studiază fenomenele electrice ce se desfăşoară în cursul procesului de excitaţie şi apreciază cu ajutorul acestora, starea funcţională a ţesuturilor vii ce suferă excitaţiile, apreciază caracterul şi forme undelor de excitaţie, viteza propagării lor ca şi o serie întreagă de alte aspecte ale activităţii organelor.

Principiile de bază ale electrofiziologiei sînt :

1.orice regiune excitată a ţesutului viu este electronegativă faţă de regiunile aceluiaşi ţesut, aflate în stare de repaus.

2.potenţialul electric negativ apare nu numai în regiunile excitate, ci şi în regiunile lezării

ţesutului.

3.tensiunea electrică se constată atît în organele pluricelulare complexe-muşchi, nervi,piele, glande,retină,cord, creer, cît şi în celulele izolate.

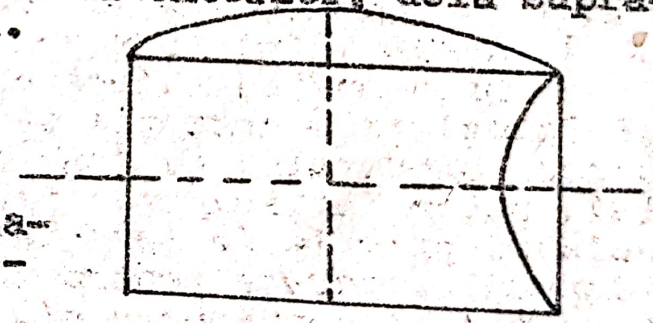
4.diferenţa de potenţial care apare în cazul excitării sau lezării unui ţesut nu este mare,ea nedepăşind de obicei cîteva zecimi de milivolţi (miimi de volţi).

Principalele organe producătoare de electricitate.

Deşi toate regiunile animalelor sînt sediul manifestărilor electrice, totuşi la unele organe , aceste fenomene sînt marcate în special şi ascultă de cîteva reguli enunţate de Du Bois-Reymond.Noi nu vom da aci decît o privire de ansamblu fenomenelor bioelectrice.

Exemplul cel mai tipic de organe producătoare de electricitate îl constituie nervii şi muşchii din cauza orientării regulate a elementelor lor constitutive.

Curenţii muşchilor şi nervilor. Dacă dintr-un muşchi se secţionează un fragment de formă cilindrică, se constată, aplicînd un electrod pe suprafaţa laterală şi unul pe secţiune, existenţa unui curent ce merge în circuitul exterior, dela suprafaţa laterală spre bază.



Potenţialul maxim este în mijlocul suprafeţei laterale în lungul unei linii trasate paralel în jurul bazei; potenţialul este minim în mijlocul bazelor.

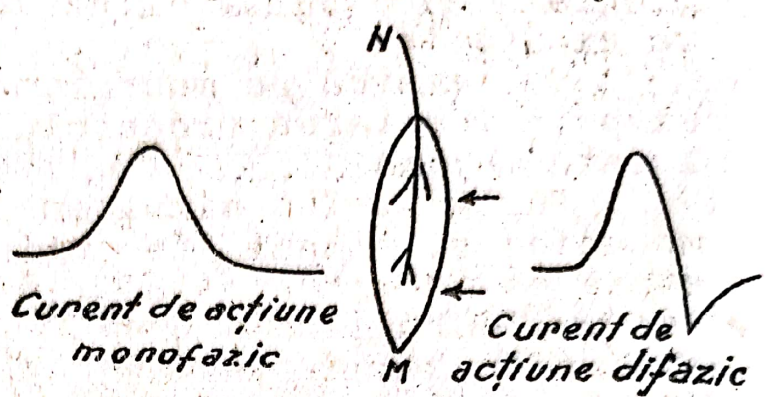
Se reprezintă schematic distribuţiile potenţialului la suprafaţa prizmei musculare, aşa cum este reprezentat în figura alăturată.

Pe un nerv secţionat se constată aceleaşi fenomene, adică un maxim de potenţial la mijlocul suprafeţei nervului. Este destul de greu de a studia repartiţia potenţialului spre bază, care întotdeauna este foarte mic.

Acest curent a fost numit Du Bois-Raymond,curent de repaus. După Hermann însă, pentru care electrobiogeneza nu apare decît după o mutilare care redă partea lezată negativă în raport cu restul organului, îl numeşte curent de alterare sau

de demarcaţie.

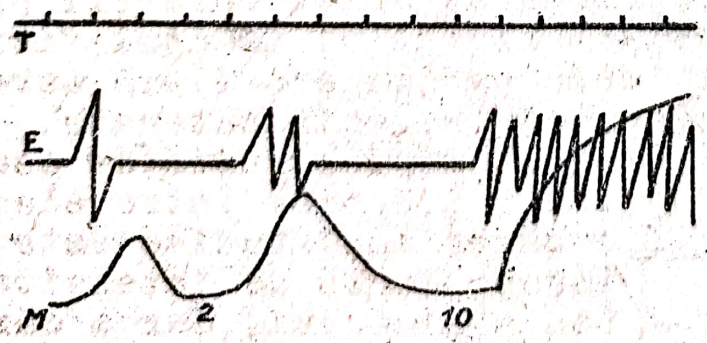
Dacă excităm un nerv sau un muşchi, se vede că curentul diminuă temporar ca intensitate - fenomen descris de Du Bois Raymond sub numele de variaţie negativă a curentului de repaus şi numit de Hermann, curent de acţiune. Operînd pe un muşchi sau un nerv, atît de intact pe cît posibil şi unde prin urmare, toate punctele suprafeţei sînt la acelaşi potenţial, fiecare excitaţie produce o undă de negativare care se propagă în tot lungul organului şi trecînd succesiv sub fiecare dintre electrozi, produce o oscilaţie electrică monofazică sau bifazică, după condiţiile experienţei. S-a putut măsura viteza acestei unde în nervi şi muşchi şi s-a constatat că este aceeaşi cu aceea a excitaţiei fiziologice a acestor organe de care ea pare legată în mod indisolubil.



Durata variaţiilor potenţialului variază dela nerv la nerv şi dela muşchi la muşchi şi chiar dela o fibră la alta a aceluiaşi nerv sau muşchi, însă numai în anumite limite, care la nerv, de obicei nu depăşesc miimi de secundă.

Dacă aplicăm electrozi de derivaţie pe muşchi şi înregistrăm curenţii de acţiune care apar în cursul procesului de contracţie voluntară a muşchiului, putem determina cu precizie numărul de impulsuri primite de muşchiul respectiv din partea sistemului nervos central, pentru declanşarea contracţiei şi menţinerea ei.

Cînd mai multe excitaţii se succed destul de rapid pentru a da naştere unui fenomen mecanic continuu, se produc totuşi fenomene electrice distincte. Astfel în figura alăturată ni se arată pe muşchiul croitor de broască excitat prin intermediul nervului, în : 1, efectul unei excitaţii unice ;



fenomene electrice în contracţia multiplă

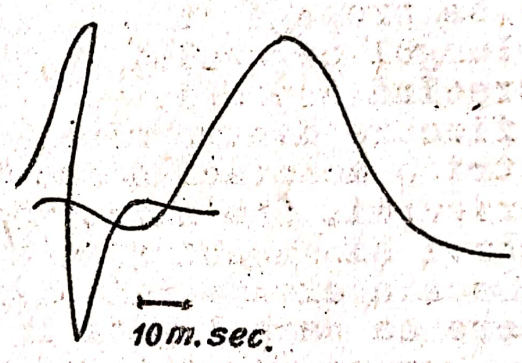
2,efectul a două excitaţii separate de 1/500 secunde ;

10,efectul a 10 excitaţii cu aceiaşi frecvenţă.

Traseul M este dat de un miograf izometric /curba tensiunilor musculare/, traseul T ne arată timpul în 2/50 de secundă, traseul E dă electromiograma cu o curbă difazică completă pentru fiecare excitaţie.

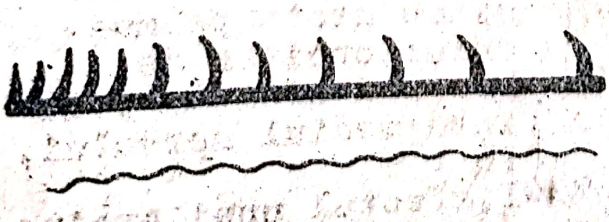
Se remarcă pe monograma M creşterea contracţiei prin repetarea procesului elementar deşi secusa 1 este maximă.

Inregistrînd simultan fenomenele electrice şi mecanice şi timpul /în sutimi de secundă/, se constată că fenomenul electric precede pe cel mecanic /de ex. durează o sutime de secundă, timp egal cu perioada latentă a fenomenului mecanic/ şi că fenomenul electric nu se suprapune exact cu această perioadă ; el prezintă un timp pierdut şi nu începe decît la cîteva sutimi de secundă după excitaţie şi împiedică cu atît asupra începutului scurtării musculare.



Undele electrice ce apar, sînt în general cu atît mai ample, cu cît excitaţia care le produce este ea însăşi mai intensă. Totuşi se admite că fiecare fibră nervoasă funcţionează după legea totului sau a nimicului, adică, unda bioelectrică odată declanşată este totală şi posedă deodată o amplitudine independentă de energia excitaţiei. Variaţia de răspuns globală provine din numărul de fibre excitate ce creşte cu intensitatea curentului.

Pe de altă parte, dacă se culeg curenţii produşi nu de un excitant artificial ci de unul fiziologic, cum ar fi acela care parcurge o fibră nervoasă sensitivă în urma unei irigaţii cutanate, se observă o serie de oscilaţii identice între ele, a căror amplitudine este independentă de intensitatea stimulului, dar a căror fregvenţă creşte cu aceasta Deci variaţia inten-



ce apar în timpul transmiterii impulsurilor nervoase de-alungul fibrelor sau celulelor nervoase, de efectul microfonic al melcului[8] reprezintă modificări ale potenţialului electric.

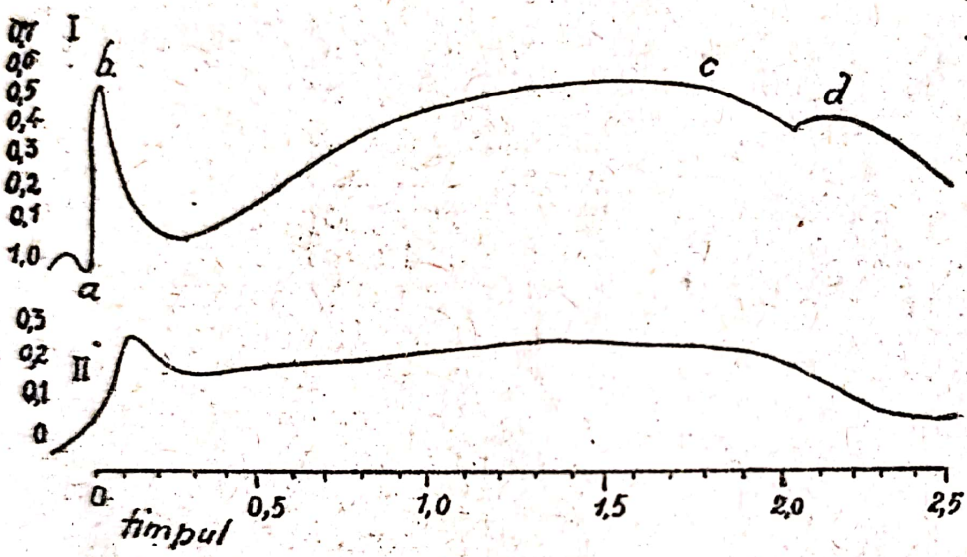
- Efectul microfonic al melcului. Este reacţia electrică a melcului şi se observă în timpul conducerii potenţialelor dela fereastra rotundă. Aceste potenţiale reproduc frecvenţa şi forma undei sonore pe întregul diapazon de frecvenţe ce sînt percepute de ureche. Cînd activitatea organismului se opreşte, potenţialele melcului dispar dar adesea persistă la un nivel scăzut şi scad treptat în timp de 1-3 ore. Locul de origine a potenţialelor melcului sînt probabil celulele sensitive ale organului lui Corti. Valoarea maximă (1 mlv.)este atinsă în timpul acţiunii tonurilor puternice cînd conducerea se face dela fereastra rotundă, iar valoarea minimă ce se poate înscrie este de 1 microvolt. Cînd este lezată membrana timpanului sau oscioarele acustice, efectul cochlear descreşte. Fenomenele electrice din melc se dezvoltă în urma acţiunilor mecanice ale undei sonore asupra organului lui Corti, fapt care produce o modificare a potenţialului electric.

- Potenţialele electrice ale nervilor şi centrilor auditivi. Dispunînd electrozi pe nervul acustic sau pe diferitele segmente ale căilor de conducere acustică pînă la scoarţa cerebrală inclusiv, pot fi observate modificări în potenţialele electrice, care survin în urma acţiunei excitantului sonor asupra aparatului receptor periferic al urechii. Aceste modificări electrice caracterizează impulsurile nervoase care trec prin sistemele analizatorului acustic şi care se deosebesc prin natura lor de efectul microfonic al melcului.Condiţiile de conducere ale impulsurilor nervoase se schimbă în funcţie de includerea unor noi neuroni la diferite niveluri ale sistemului nervos central. Aceasta este în legătură cu creşterea perioadei latente şi cu diminuarea frecvenţei prag a impulsurilor nervoase produse sincron cu frecvenţa vibraţiilor sohore în acţiune.

Curenţii analizorului vizual. Sub influenţa luminii, se dezvoltă în ochi fenomenele electrice ce pot fi împărţite în modificări ale potenţialelor electrice din retină şi curenţii de acţiune ce apar în nervul optic în timpul transmiterii impulsurilor nervoase.

- Modificări ale potenţialelor electrice din retină. Retina are proprietăţi electrice foarte interesante studiate de Waller : la obscuritate suprafaţa choroidei este negativă în raport cu suprafaţa internă. Cînd se luminează retina, se produc oscilaţii electrice la începutul, în timpul şi puţin după încetarea acţiunii luminii.

Dacă aşezăm un electrod sub pleoapă, iar celălalt aproape de ochi (în regiunea temporală), se înregistrează la oscilograf o electroretinogramă ce are o curbă foarte complicată (pisică decerebrată adaptată la întuneric). Faza iniţială a curbei se caracterizează printr-o undă negativă (a) după care urmează rapid unda pozitivă (b). Se instalează apoi o fază lentă pozitivă (c) ce caracterizează ridicarea secundară a curbei. La încetarea iluminării se mai produce o ridicare a curbei sub forma undei (d).



Această undă este foarte evidentă la broască cînd în caz de intensitate mare a excitaţiei poate egala unda b.

Cînd intensitatea excitantului şi suprafaţa de excitare a retinei se micşorează, electroretinograma capătă un aspect mai simplu şi se lungeşte şi perioada latentă (Fig.II).

Analiza electroretinogramei din p.d.v. a stabilirii corelaţiilor dintre modificările electrice retiniene şi procesele fiziologice petrecute în ea, ne dă posibilitatea să înţelegem mai bine întreaga complexitate a fenomenelor ce au loc în ochi. Astfel studiul undei b a arătat dependenţa paralelă dintre creşterea *purpurului* retinian în timpul adaptării la întuneric şi creşterea amplitudinii potenţialelor retiniene.

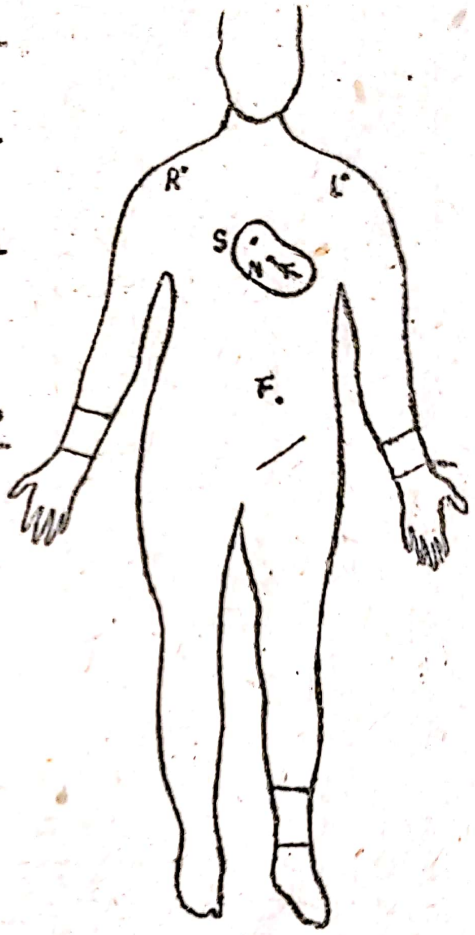
Polul posterior al retinei aşezat în întuneric este electropozitiv în raport cu polul anterior. Cînd retina este luminată, diferenţa se accentuiază.

Dacă se proiectează pe retină un fascicol de lumină albastră (ce excită în special bastonaşele)se obţine o undă monofazică ce creşte pentru ochiul adaptat la întuneric. Pentru lumina roşie (ce excită în special conurile), unda este bifazică dar de foarte scurtă durată ce se schimbă prin adaptare la întuneric. Răspunsul electric al retinei pentru lumina albă, reprezintă o combinaţie a celor două efecte arătate. In urma excitării celulelor retiniene,pleacă influxuri nervoase vizuale spre creer unde determină în scoarţă perturbaţii electrice. Explorarea electrică şi sistematică a scoarţei a permis să se stabilească existenţa unei strînse corespondenţe între diversele părţi ale retinei şi aria vizuală corticală. Astfel reprezentarea corticală a maculei ocupă un loc foarte larg în raport cu alte zone retiniene, ceea ce arată că suprafeţele senzoriale din creer sînt în raport cu importanţa zonelor retiniene şi nu cu dimensiunile lor.

- Curenţii de acţiune din nervul optic. Hartline a făcut experienţe pe ochi de limulus polyphemus la care, din fiecare celulă vizuală porneşte o fibră nervoasă ce ajunge fără nici o întrerupere sinaptică, pînă la ganglionul central. El a reuşit să înregistreze impulsurile nervoase ce au loc într-o fibră izolată a nervului optic în timpul excitării luminoase a ochiului. Descărcarea impulsurilor în fibra nervoasă izolată este compusă din impulsuri ritmice dotaţe cu o înălţime perfect uniformă.

Ca răspuns la luminarea prelungită a ochiului, frecvenţa impulsurilor este la început mare (maximum 130/sec), apoi descreşte apropiindu-se de un anumit nivel constant ce formează 1/10 din mărimea iniţială. In caz de creştere a intensităţii luminoase se scurtează perioada latentă,deci frecvenţa impulsurilor transmise de o fibră a nervului optic este în raport direct cu intensitatea excitaţiei luminoase, în timp ce oscilaţii de 1/1.000.000 în intensitatea luminii, produc o reacţie diferită. Dacă ochiul adaptat la întuneric este luminat puternic, la 0,3" după luminare apare o întrerupere a descărcărilor electrice, apareastfel un interval de "tăcere" deşi ochiul e continuă să fie luminat. După perioada de tăcere (0,2") apar din nou descărcări cu o frecvenţă mult mai mică, frecvenţă cu care se continuă apoi tot timpul iluminării.

Curenţii cardiaci. Muşchiul cardiac contractîndu-se, pune şi el în libertate energie electrică destul de remarcabilă (1 mlv.)şi care difuzează curenţii de acţiune pe o arie întinsă din suprafaţa corporală. Aşa se explică faptul că pentru înscrierea grafică a acestor curenţi (electrocardiograma) se utilizează o metodă indirectă, electrozii montîndu-se destul de parte de corp. Corpul omenesc este considerat astfel ca un mediu conductor inima fiind considerată ca sursă electrică situată în centrul geometric al triunghiului delimitat de punctele R,L,F.



Pentru a înscrie corect o electrocardiogramă, ne servim de două mari metode :

- metode bipolare;
- metode unipolare.

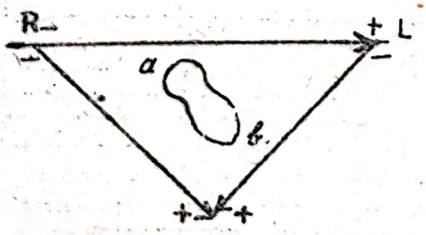
Metoda bipolară numită şi standard utilizează trei derivaţii prin montarea a trei electrozi astfel : unul (L)pe antebraţul stîng, altul(R)pe antebraţul drept şi în fine ultimul(F)pe gamba stîngă.Derivaţiile care rezultă de aci sînt următoarele :

derivaţia I-a (transversală) un electrod pe mîna stîngă, celălalt pe cea dreaptă;

derivaţia a II-a (oblică) un electrod pe mîna dreapta, altul pe piciorul stîng;

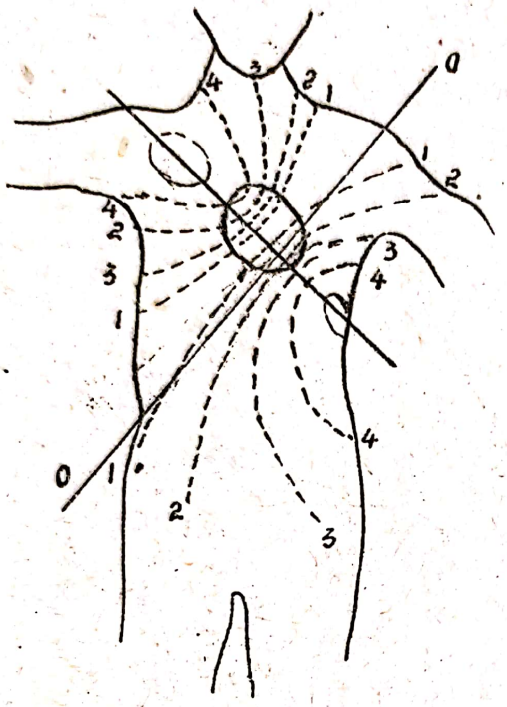
derivaţia a III-a (longitudinală) un electrod pe mîna stîngă, altul pe piciorul stîng.

Punctele R,L şi F înscriu inima într-un triunghi aproximativ echilateral, toracele constituind mediul conductor. Dar legile de formare a impulsurilor electrice ne arată că potenţialele în membrele respective sînt aproape egale cu cele din punctele proximale.



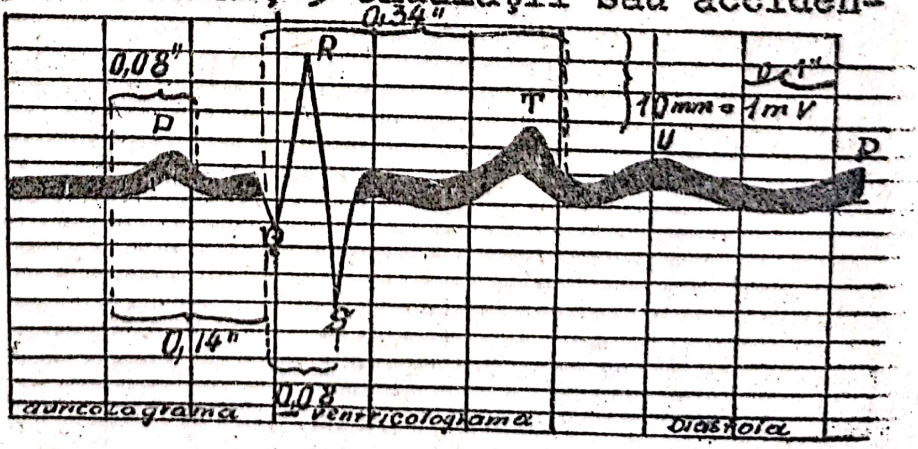
Săgeţile din figură arată direcţia principală în care se propagă excitaţia şi depolarizarea.

Aceste montări în trei derivaţii principale, se fac conform teoriei lui Waller, după care, potenţialele electrice ale cordului se distribuie în jurul polilor cardiaci. Linia ecuatorială 0-0, aşezată perpendicular pe axa electrică, delimitează cele două regiuni din organism cu potenţial diferit. Curbele desenate deasupra liniei ecuatoriale au acelaşi semn cu baza inimei, iar cele de dedesubtul acestei linii, au acelaşi semn cu vîrful inimei, astfel că un electrod montat deasupra acestei linii şi altul montat dedesubt, vor indica deci curenţii activităţii cardiace.



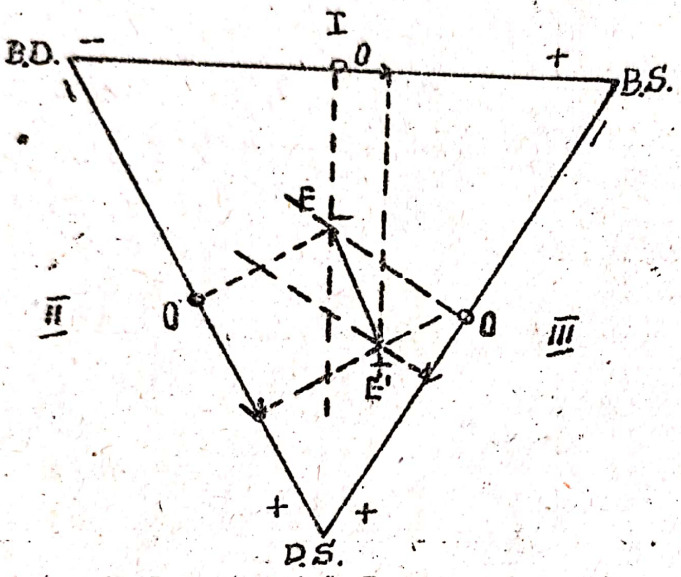
In aceste condiţiuni, înregistrarea galvanometrului va traduce şi activitatea electrică a celorlalte organe cuprinse în circuit. Deaceea pacientul trebuie să stea în repaos, iar curenţii paraziţi ce sînt aproape constanţi, pot fi anulaţi printr-o t.e.m. suplimentară introdusă în circuit, în aşa fel încît variaţiile de curent înscrisă pe hîrtia sensibilă, traduc numai activitatea cardiacă.

Curba astfel obţinută (electrocardiograma) prezintă la individul normal, 5 ondulaţii sau accidente notate de Einthoven cu literele P, Q, R, S, T, dintre care 3 şi anume P, R, şi T sînt pozitive, iar două, Q şi S sînt negative. Cercetarea mai amănunţită a



electrocardiogramei interesează pe fiziolog şi clinician. Trebuie să remarcăm doar că amplitudinea acester unde variază cu derivaţia (în derivaţia a II-a sînt cele mai mari), cu poziţia axei electrice a inimei şi cu diferitele afecţiuni cardiace în care una sau mai multe ondulaţii pot fi modificate sau chiar pot dispare.

Axa electrică a inimei nu coincide întotdeauna cu axa ei anatomică. Pentru determinarea poziţiei axei electrice, ne servim de metoda triunghiului echilateral al lui Einthoven: se ia un triunghiu echilateral, a cărui bază reprezintă conducerea I, iar celelalte laturi, conducerile II şi III. Din mijlocul O al fiecărei laturi, se ia o lungime proporţională cu amplitudinea liniei RS şi în sensul corespunzător al acestei linii (unde). Din vîrfurile segmentelor astfel comstruite, se ridică perpendiculare, care, intersectîndu-se între ele, vor determina două puncte E şi E'. Segmentul EE' are o mărime proporţională cu t.e.m. a inimei, iar direcţia lui, ne reprezintă tocmai direcţia axei electrice a cordului.

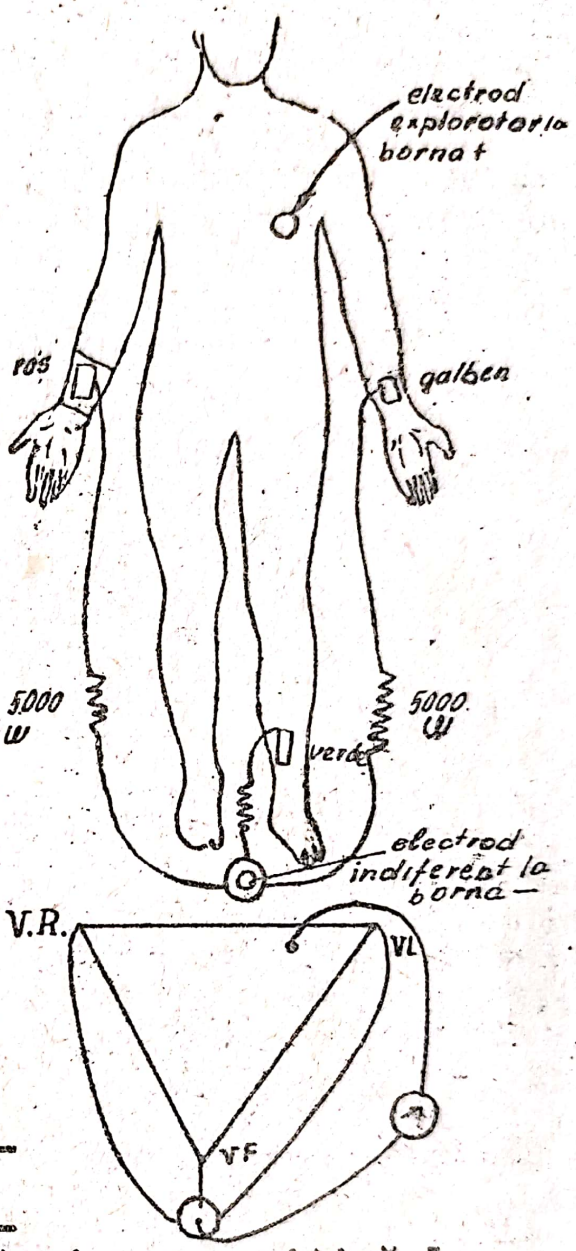


Conducerile standart au şi unele desavantagii:

- nu explorează decît proiecţiile ce se fac în planul frontal;
- în planul frontal sînt conduceri bipolare, adică înregistrează ceace electrozii culeg simultan la cele două extremităţi ale conducerii respective. Astfel potenţialele electrice de acelaşi sens şi valoare egală la cele două extermităţi se anulează aşa că se poate înscrie o linie izoelectrică cînd de fapt există modificări electrice.

Pentru a evita aceste inconveniente se utilizează conducerile unipolare. Iată în ce constă aceasta : dacă legăm cele trei borne ale triunghiului prin fire conductoare la o bornă centrală numită "central terminal" simbolizată prin litera V sau W, aceasta va avea un potenţial zero chiar dacă în

mijlocul ei este o sursă electrică. Deci acest electrod va fi indiferent. Intre fiecare electrod şi acest central terminal este intercalată cîte o rezistenţă de 5000 Ω . Dimpotrivă, un electrod aşezat într-un punct oarecare din triunghi, va da informaţii despre manifestările electrice din acel punct, constituind astfel un electrod explorator. Prin legarea celor doi electrozi la un galvanometru, informaţiile culese vor fi unipolare.



Graficele înscrise unipolar depind de :

-mărimea sursei electrice;

-îndepărtarea electrodului explorator de sursa electrică;

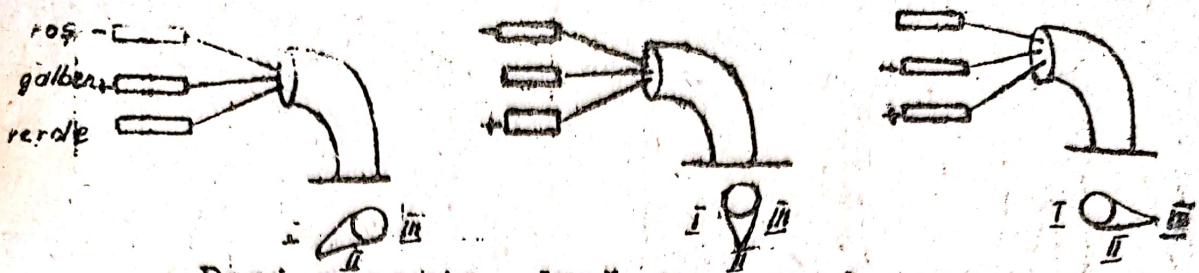
-felul cum s-a făcut legătura cu galvanometrul.

Din aceste cauze :

a)intensitatea undelor este cu atît mai mare cu cît sursa este mai puternică şi cu cît electrodul explorator este mai aproape de ea;

b)legătura cu galvanometrul se face astfel :borna - a galvanometrului se leagă la electrodul indiferent şi cea pozitivă la electrodul explorator.

Iată cum se face legătura cu electrocardiograful ;Pentru conducerile unipolare indicaţiile C I, C II şi C III îşi pierd orice valoare, nereprezentînd decît posibilitatea de a utiliza doi poli ai galvanometrului adică roş (-) şi galben (+), roş (-) şi verde (+) sau galben (-) şi verde (+).Borna (-)se leagă cu electrodul indiferent şi cea (+)la electrodul explorator. In practică putem utiliza orice derivaţie însă cu condiţia să utilizăm firele respective, adică :



Deci practic, după ce s-au înregistrat conducerile standard, dacă lăsăm comutatorul pe C III, legăm firul verde (+)la electrodul explorator şi cel galben (-)la cel indiferent.

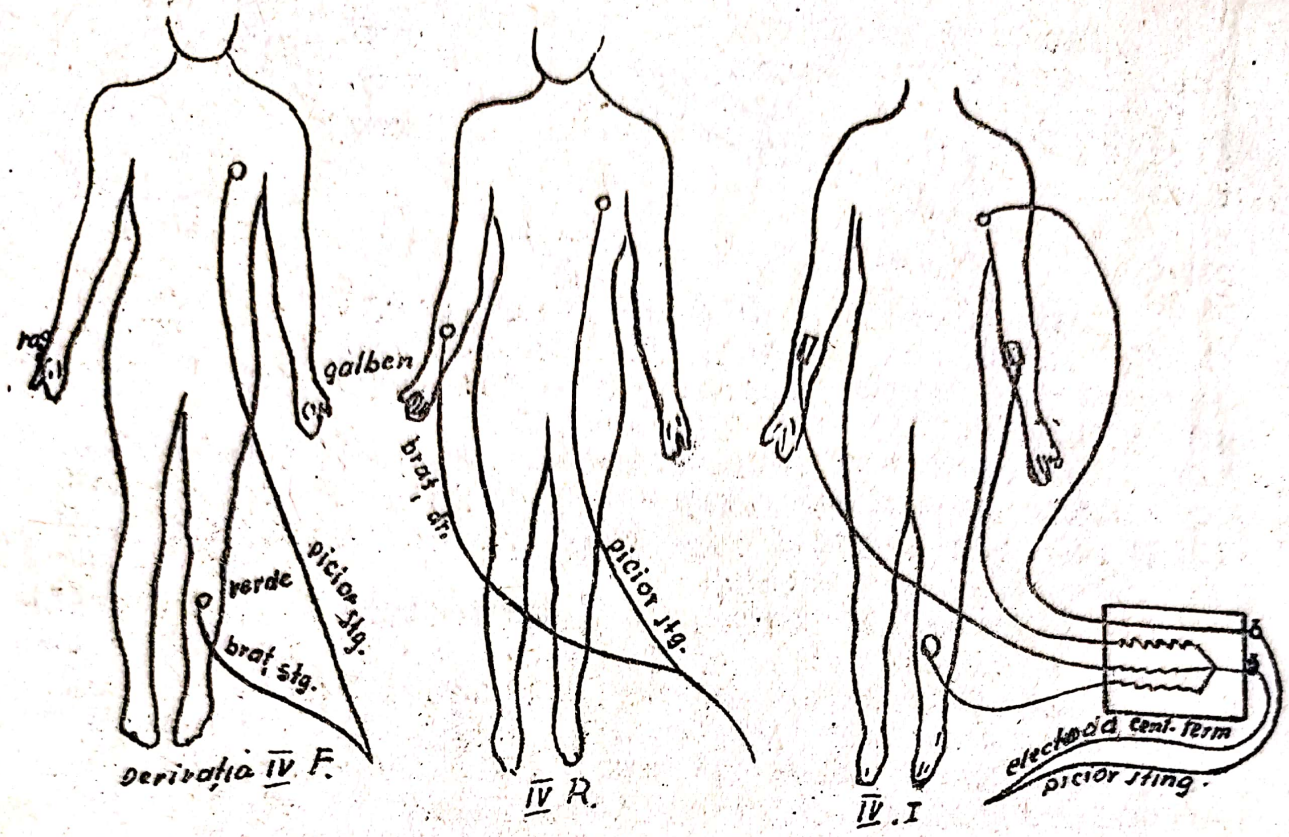
In practică se utilizează mai multe feluri de conduceri unipolare, dintre cari în mod curent se folosesc conducerile toracice (precordiale) şi mai rar cele ale membrelor.

— Conducerile toracice (precordiale) se înregistrează cu un electrod explorator aşezat în diferite puncte ale toracelui în vecinătătea inimii.

Ca electrod indiferent, deşi întrebuinţarea electrodului V dă rezultatele cele mai corecte, practica a arătat că se poate utiliza şi electrodul de pe gamba stîngă, care, prin depărtarea lui de inimă, influenţează puţin aspectul graficului. Acest electrod "semi-indiferent" se mai numeşte şi electrod distal (CT)

Electrodul explorator este un disc de metal inoxidabil, cu diametrul de 3-5 cm, fixat în centrul său de o tijă metalică ce se continuă cu un mîner izolator. Electrodul explorator se aşează în puncte precordiale diferite dintre cari cele mai utilizate sînt : parasternal stîng (pentru ventricolul drept), pe linia medioclaviculară (corespunde spaţiului interventricular) şi linia axilară anterioară (pentru ventricolul stîng). Deoarece acest electrod permite înregistrări grafice asemănătoare cu cele obţinute experimental prin aplicarea directă a electrodului pe inimă, conducerile precordiale au fost numite şi conduceri semiindirecte.

In practică se procedează astfel : după ce au fost înregistrate conducerile standard, se lasă comutatorul pe C III, se scoate firul galben dela braţul stîng şi se leagă la picior, iar firul verde scos dela picior se leagă la electrodul explorator (toracic). Acest lucru este schematizat în figurile de mai jos :



-Conducerile membrelor se înregistrează cu electrodul indiferent (V) şi cu un electrod explorator aplicat succesiv pe antebraţul drept, stîng şi gamba stîngă.

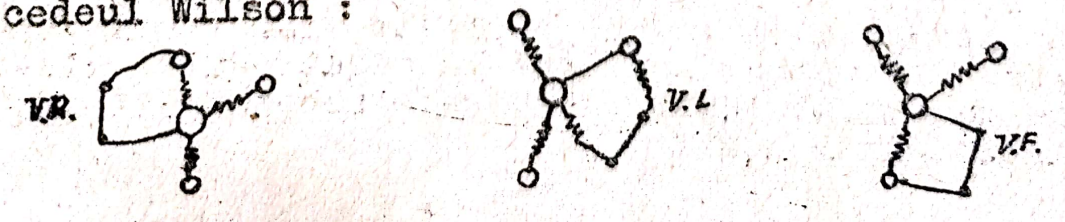
Electrodul indiferent este reprezentat obligator prin "centralul terminal" V.

Electrodul explorator este reprezentat de o placă metalică ca şi în conducerile standard ce se fixează pe membrul respectiv.

In practică s-a observat că dacă la înregistrare se întrerupe legătura dintre electrodul V şi membrul pe care se află electrodul explorator, se obţine o amplificare a undelor electrocardiografice, fără a schimba forma lor.

Există două tehnici de înregistrare a potenţialelor membrelor : cea a lui Wilson şi cea a lui Goldberger.

Iată schema tehnică de înregistrare după procedeul Wilson :



Membrul explorat este legat la extremitatea superioară a corzii galvanometrului. Extremitatea inferioară a corzii este legată la borna centrală care ea însăşi reuneşte cele trei membre prin intermediul rezistenţelor de 5000 .

La înregistrarea potenţialelor membrelor după procedeul Goldberger nu mai sînt rezistenţele de 5000 şi membrul exploral nu mai e legat la borna centrală.

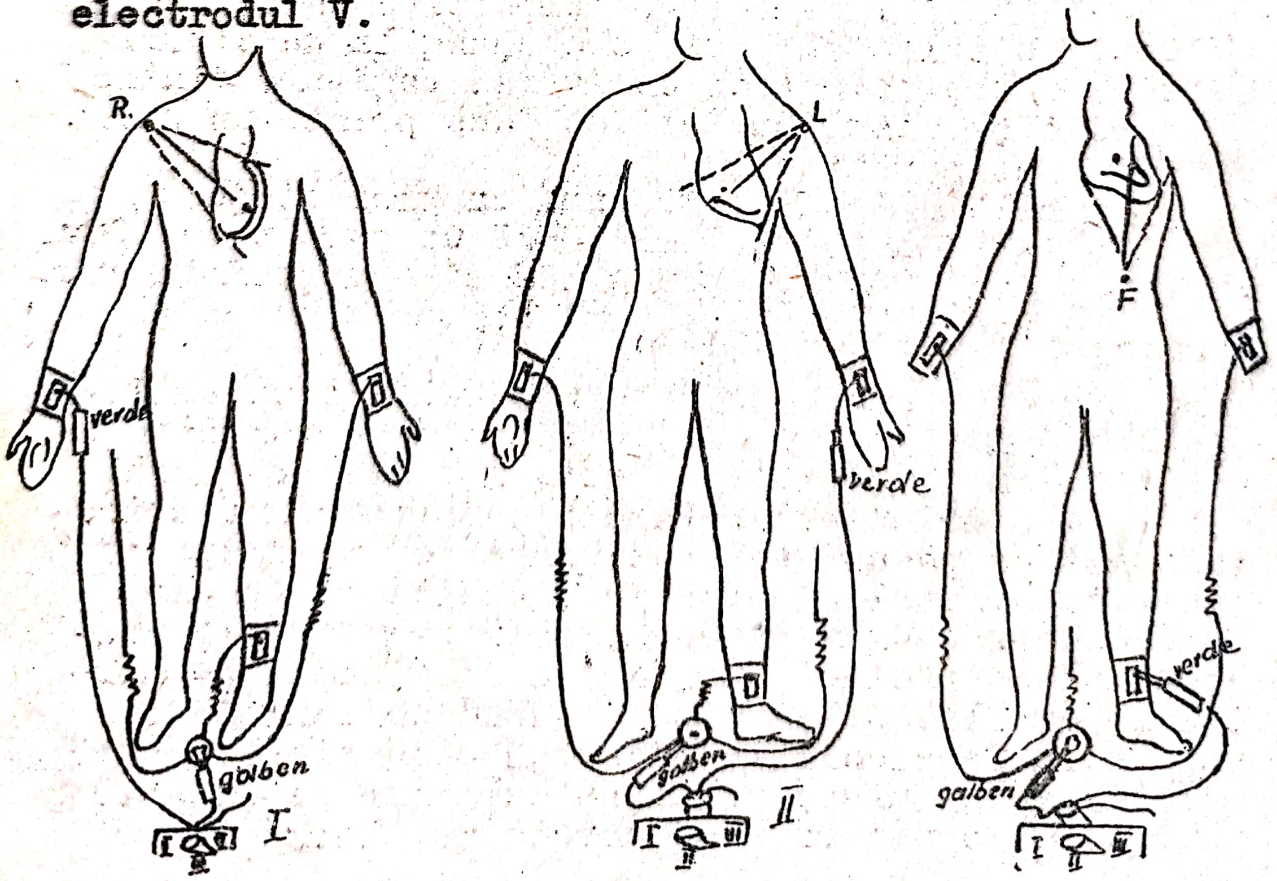
In figura de mai jos se arată procedeele tehnice de felul cum se face legătura cu electrocardiograful pentru a obţine conduceri unipolare. Borna (+)a galvanometrului se leagă la electrodul explorator şi cea (-)la acel indiferent. Deci în practică : comutatorul pe C III, firul verde (+)la electrodul explorator şi firul galben (-) la electrodul V.

VR :firul verde pe antebraţul drept şi firul galben la V (I).

VL :firul verde pe antebraţul stîng şi firul galben la V (II).

VF :firul verde pe gamba stîngă şi firul galben la V (III).

- Se observă în acelaşi timp,la fiecare conducere că se întrerupe legătura dintre membrul explorat şi electrodul V.



Problema tehnică a înregistrării electrocardiogramei a fost rezolvată în două feluri :

1)Fie prin utilizarea unui galvanometru extrem de sensibil - galvanometrul cu coardă a lui Einhoven - care măsoară "curenţii de acţiune"şi care a fost montat de casa Boulitte sub forma electrocardiografului Boulitte.

2)Fie prin intercalarea unui amplificator electronic în circuitul unui galvanometru mai puţin sensibil cu cadrul mobil şi magnet fix care măsoară "tensiunile de acţiune" şi care a intrat în clinică sub numele de electrocardiograful lui Einthoven.

Acesta din urmă are cîteva avantaje faţă de primul şi anume : are un volum mai mic, este deci mai uşor de transportat, este mai uşor de reglat şi etalonat.

Ca tip de astfel de galvanometru vom descrie pe cel livrat de marca Siemens, deşi toate aceste aparate au acelaşi principiu, ceea ce diferă este doar aranjamentul diferitelor piese.

Curentul întrebuinţat nu mai este curentul alternativ, ci curentul continuu furnizat de o baterie anodică.

Iată din ce este format schematic, aparatul:

-electrozii cu firele respective care culeg curenţii bioelectrici şi care ajung la un distribuitor pentru cele trei derivaţi. Legătura dintre electrozi şi distribuitor se face printr-un cablu blindat antiparazit;

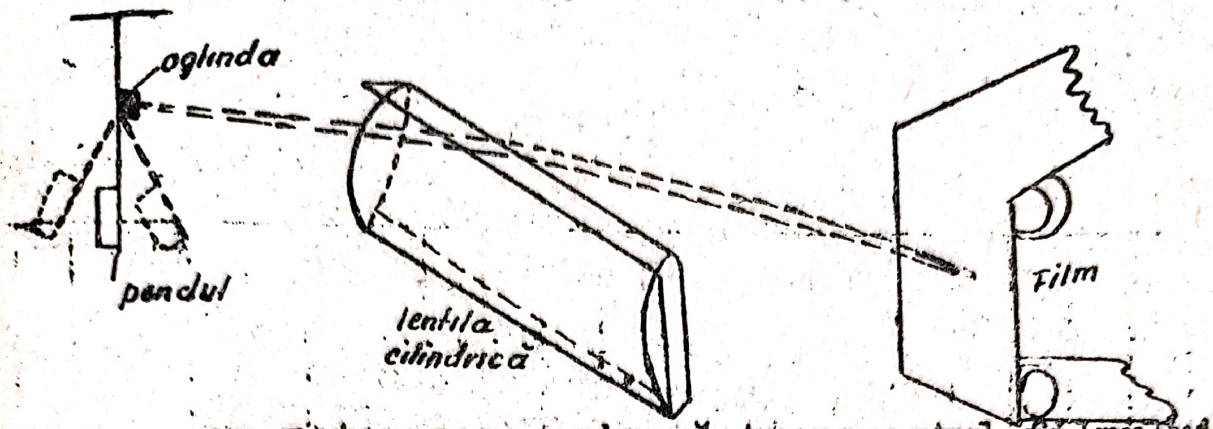
-amplificatorul este unul cu trei etaje;

-bateria anodică furnizează un curent de 100v. pentru placă, 73 v pentru grilă şi 4 v.pt.filament;

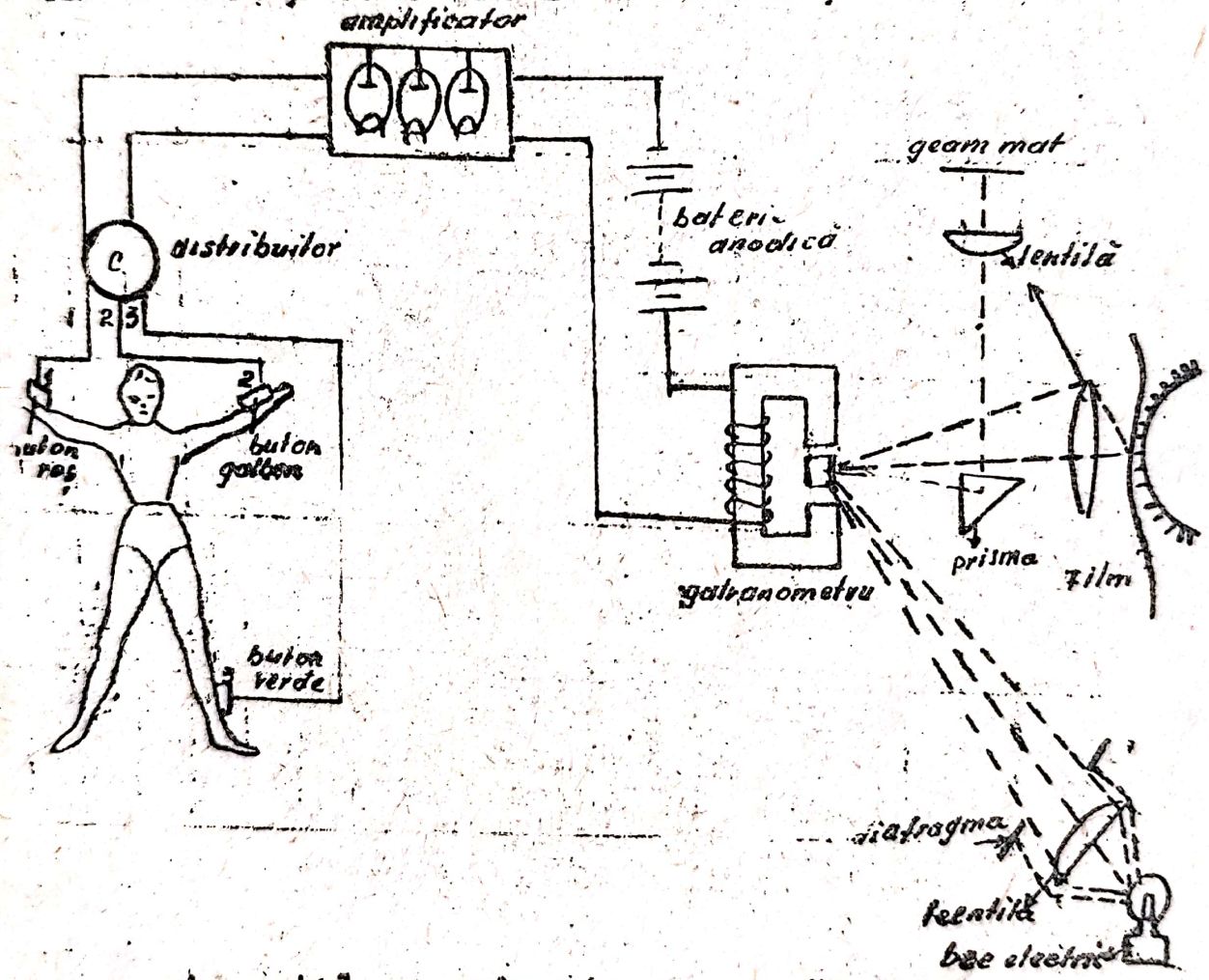
-galvanometrul este unul obişnuit cu cadru mobil;

Sistemul optic este format din : o sursă luminoasă (un bec electric),o lentilă convergentă, un diafragm, o oglindă ce este aşezată pe cadrul mobil şi o prismă ce reflectă o parte din fasciculul luminos pe un geam mat, fapt ce are drept scop controlul vizual al spotului. O altă parte din fascicol trece mai departe, printr-o lentilă convergentă ce proiectează imaginea oglinzii pe hîrtia sensibilă. Dela aceeaşi sursă de lumină, o parte din fascicole luminos mai cade şi pe o altă oglindă ce se mişcă pe un pendul care ne înscrie timpul. Cele mai uzuale aparate marchează timpul

în 2,4 şi 5 sutimi de secundă (0,02;0,04 şi 0,05sec).



-un motor care asigură transportul filmului sau a cutiei cu o viteză uniformă şi cunoscută



Aparatul propriu zis are următoarele la exterior :

1. Un voltmetru cu două scări, una dela 0-6 v şi alta dela 0-120 v. Sub scara voltmetrului se găseşte un buton ce se poate mişca pentru 4 poziţii. In poziţia cea mai din stînga, nenotată, arată că nu trece nici un curent prin voltmetru. In poziţia a doua, la diviziunea 4 arată voltajul filamentului (4 v), voltaj care se citeşte pe scara inferioară.

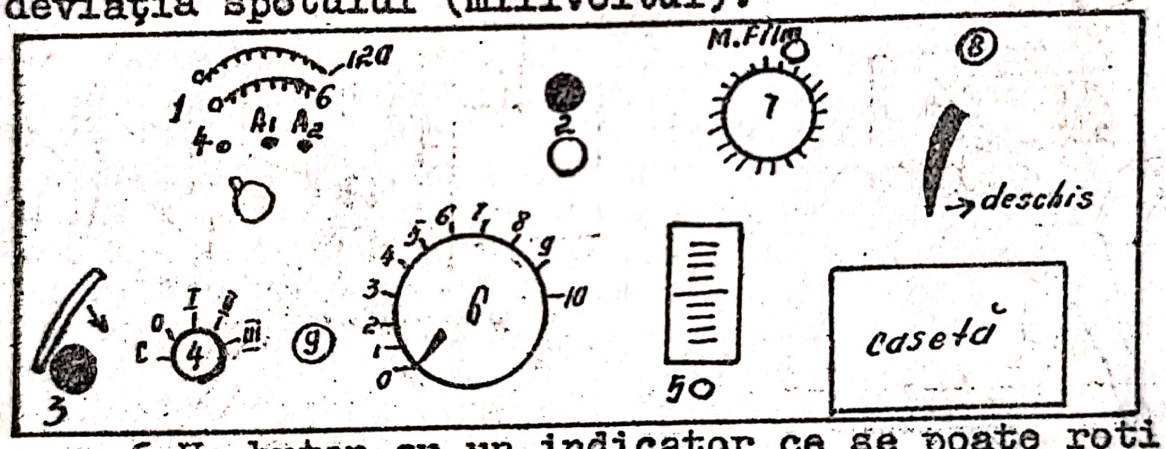
In poziţia a treia, în dreptul diviziunii A_1, arată voltajul sau tensiunea anodică (de placă = 100 v). In poziţia a 4-a, în dreptul diviziunei A_2 se citeşte tensiunea grilei (73 v). Aceste două ultime voltaje se citesc pe scara superioară.

2. Intrerupătorul cu două butoane : unul superior negru, care cînd este apăsat deschide circuitul (nu trece astfel curent prin aparat) şi un buton inferior roşu, care apăsat, închide circuitul din aparat.

3. O manetă care mişcă oglinda, pentru a o aduce, şi odată cu ea, spotul luminos în mijlocul sticlei mate, care proiectează acest spot.

4. Distribuitorul de derivaţii, care pe lîngă indicaţiile I, II şi III pentru cele trei derivaţii, mai are două indicaţii: una notată cu litera C, la care se aduce distribuitorul cînd etalonăm milivoltul (1 mv = 1 cm) şi cealaltă notată cu O.

5. Geamul mat pe care se proiectează spotul, care la desubt are un buton, pe care apăsînd, vedem deviaţia spotului (milivoltul).



6. Un buton cu un indicator ce se poate roti între diviziunile 0 şi 10, ne dă o sensibilitate mai mare sau mai mică aparatului, pentru etalonarea milivoltului, înlăturarea curenţilor cutanaţi sau eventualelor fibrilaţii musculare.

7. Indicatorul ce ne arată metri de film consumaţi.

8. Manetă ce porneşte motorul care mişcă automat filmul (rulează).

9. Un buton, care prin apăsare, diminuă sau elimină curenţii paraziţi şi în fine în partea de jos şi în dreapta aparatului, fără nici o cifră, se găseşte caseta ce se încarcă cu filmul respectiv pe care vom înscrie electrocardiograma.

Tehnica de lucru.

a) Montăm electrozii aşa cum trebuie.

b)apăsăm pe 2 (buton roş)pentru a închide circuitul.

c)controlăm voltajul pentru filament,placă şi grilă (buton 1).

d)se mişcă de maneta galvanometrului pentru a aduce spotul în mijlocul cîmpului sticlei mate.

e)punem butonul 4 pe indicaţia C şi apăsăm pe butonul 5 pentru a contrcla milivoltul(1 mlv=1 cm).

f) dacă spotul mai are mici deviaţii datorită curenţilor supraadăugaţi, mişcăm butonul 6 la diviziunile 1-2-3-etc.pînă cînd dispar; iar dacă mai avem curenţi paraziţi de înaltă frecvenţă apăsăm pe butonul 9.

g)punem distribuitorul (butonul 4)pe derivaţia I.

h)mişcăm la dreapta maneta 8 care ruleazâ filmul timp de cîteva secunde pentru a înscrie curenţii cardiaţi pentru derivaţia I-a.

i)continuăm acelaşi procedeu pentru derivaţia II-a şi a III-a.

j)scoatem filmul la întuneric şi-l developăm.

Există actualmente aparate de electrocardiografie care au între 3 şi 8 galvanometre şi care permit astfel înscrierea simultană a tot atîtea conduceri.La aceste aparate tehnica este aceiaşi.Pe geamul mat se urmăresc excursiile simultane ale punctelor luminoase, avînd cîte o manetă pentru fiecare dintre ele. Cu aceste electrocardiografe se pot fixa dela început toţi electrozii pe membrele şi toracele bolnavului, pentru ca apoi, cu ajutorul unui comutator, să se obţină combinaţii diferite ale graficelor simultan înregistrate.

Curenţii centrilor nervoşi. Primele cercetări în domeniul electrofiziologiei creerului se datoresc lui V.I.Danilevschi din Harcov (1875) care observă astfel de fenomene în scoarţa emisferelor cerebrale dela animale, iar I.C.Secenov (1822) în bulb.Aceste cercetări au fost continuate şi au dus la înţelegerea fenomenelor bioelectrice ale scoarţei şi pentru fixarea rolului regulator al creerului în desfăşurarea funcţiilor organismului (auz,văz,motilitate).

Părţile gri ale măduvei nu prezintă activităţi electrice spontane, căci aplicînd pe ele în stare de repaus relativ, electrozi de derivaţie, nu vom constata excitaţii ritmice locale. Prin excitarea însă a nervilor centripeţi sau centrifugi, măduva este sediul unei variaţii negative lente acompa-

niate de unde mai rapide.

Aplicînd electrozii pe bulb, chiar într-o stare de repaus relativ, se prezintă variaţii ritmice de potenţial, fapt care ne arată prezenţa permanentă a ritmicităţii excitaţiei locale. Mai sus, în formaţiile subcorticale, thalamus, creeraş şi în scoarţa emisferelor cerebrale, ori unde aplicăm astfel de electrozi, înregistrăm o electrogramă compusă dintr-o serie complexă de oscilaţii ritmice ce apare spontan sau declanşată prin excitarea nervilor periferici. Dintre astfel de electrograme cea mai importantă este acea a scoarţei cerebrale (electroencefalograma).

Pentru înregistrarea *unei electro encefalograme*, se aşează pe capul individului de examinat o cască de cauciuc, după ce pielea a fost în prealabil rasă şi degresată, cu orificii în care se introduc electrozi impolarizabili de argint în formă de plăci. Electrozii se aşează pe cap, în locul corespunzător regiunii emisferelor cerebrale pe care vrem s-o examinăm. Actualmente se întrebuinţează un electrod lung ce se introduce în nas. Electrozii sînt în legătură cu un oscilograf prin intermediul unui amplificator foarte puternic din cauza diferenţelor mici de potenţial a curentului de detectat (care este de cca 1/100.000 v.).

Teoria privitoare la oscilaţiile bioelectrice şi la ritmul lor în scoarţa cerebrală, tinde să explice natura şi caracterul proceselor care provoacă la nivelul creerului, aceste fenomene electrice. Astfel se disting următoarele ritmuri de curenţi :

-ritmul α cu o valoare medie de 50-60 μv şi cu o frecvenţă, cuprinsă în stare normală între 8-13 oscilaţii pe secundă. Ritmul α se înregistrează cel mai bine în regiunea occipitală, iar cea mai mică stabilitate a acestui ritm este în regiunea frontală.

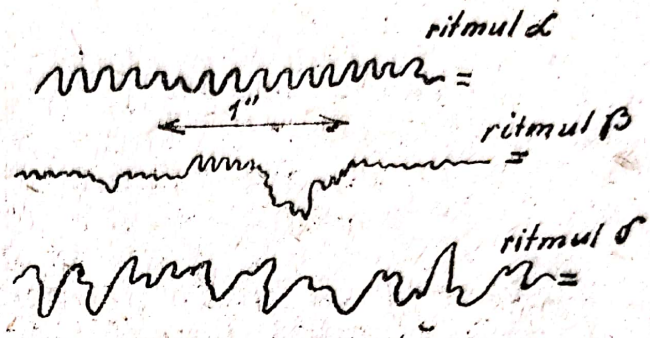
Acest ritm este considerat ca un indice al capacităţii numeroaselor celule ale emisferelor cerebrale de a acţiona simultan şi unitar. Pentru apariţia lui este necesar un anumit nivel de excitabilitate a scoarţei.

Undele ritmului α au o amplitudine considerabilă cu durata pînă la 100 milisecunde.

-ritmul β cu o frecvenţă mai mare (20-30/sec) dar cu o tensiune mai mică (cca.20-50 microvolţi), fiecare undă cu o durată de 35-40 milisecunde. Zonalor de electţie este regiunea frontală.

-ritmul γ ce se deosebeşte de ritmul β în special printr-o frecvenţă mai mică (4-7 oscilaţii pe secundă).

-ritmul δ este reprezentat prin unde lente, întinse, avînd o frecvenţă foarte mică de 2-4 oscilaţii/sec. El apare deosebit de evident în cazurile de leziuni cerebrale, fiind caracteristic stărilor patologice ale creerului şi reprezentînd una din varietăţile undelor lente. După aspect ele amintesc diferenţele de potenţial ce se observă la om în timpul somnului. Această asemănare nu este o simplă coincidenţă dat fiind că în cazurile patologice de leziuni cerebrale, întîlnim deasemenea stări de inhibiţie profundă.



E.E.G. normală

La trezirea din somn, undele lente recapătă ritmul normal al potenţialelor electrice. In cazurile patologice însă, undele lente de diferite perioade, sînt constante şi se înregistrează pe E.E.G. în orice moment, indiferent dacă individul se găseşte în stare de veghe sau de somn.

In figura de mai jos se arată efectul unei iluminări brusce (indicată pe linia inferioară) asupra E.E.G. Se remarcă latenţa notabilă a inhibiţiei acompaniată de o accelerare a ritmului ce trece dela 9,8 H la 11,5 H.

Deci undele γ şi δ sînt expresia desvoltării unei inhibiţii corticale sau a unei activităţi nervoase reduse (tumoare, focar inflamator, leziuni degenerative). Devieri spre ritmurile rapide şi în special apariţia potenţialelor de mare voltaj şi frecvenţă (spik-urile) sînt legate de dezvoltarea proceselor de excitaţie.

Encefalograma este departe de a fi identică pentru toate regiunile creerului, fiecare regiune corticală manifestînd o activitate proprie, diversele activităţi locale fiind mai mult sau mai puţin coordonate între ele. Totuşi ele au următoarele particularităţi :

-pentru un acelaşi individ, undele α se caracterizează printr-o frecvenţă stabilă în diferite momente şi pe mai multe teritorii cerebrale. Din contră undele β au o frecvenţă foarte variabilă în timp şi spaţiu.

-în timpul somnului se observă în toate regiunile scoarţei oscilaţii mai lente ca ritmul α , ce sînt răspîndite în toate regiunile celor două emisfere şi care sînt caracteristice pentru stadiul de inhibiţie a scoarţei.(Se ştie după I.P.Pavlov, că somnul reprezintă o stare de inhibiţie profundă, răspîndită asupra întregii scoarţe cerebrale).

-excitanţii senzoriali modifică curenţii bioelectrici. Aşa de ex. sub acţiunea luminii, (dacă în prealabil individul a fost ţinut la întuneric) se vede că undele α diminuă din amplitudine, în acelaşi timp, crescînd ritmul.

-caracterul cel mai important pentru E.E.G. este ritmul. Aceasta este lent în prima copilărie, în somnul profund, şi în narcoză în momentul pierderii conştiinţei. Pentru unii autori, ritmul α trebuie considerat ca ritmul undelor de repaos, în timp ce undele β , mai rapide, ar reprezenta undele de activitate.

In rezumat electroencefalograma (E.E.G.) omului normal, cuprinsîndu-se sub acest termen şi noul născut şi omul adormit, cuprinde trei ritmuri principale :

-ritmul α , sau ritmul de repaos 8-12 H
-ritmul β , sau ritmul de activitate 18-60 H
-ritmul δ , sau ritmul de inhibiţie 1-6 H

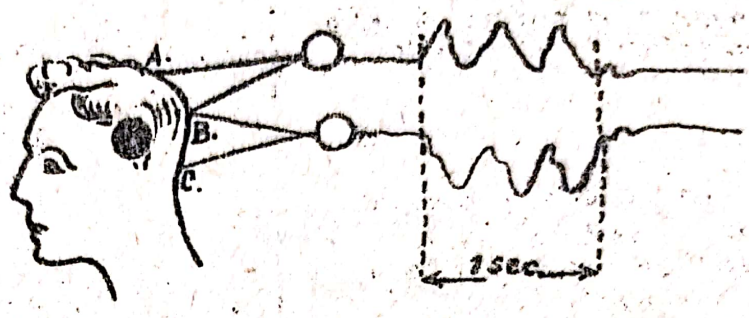
Acestea au permis lui Baudoin şi Fischgold de a enunţa legea următoare :

frecvenţa undelor corticale merge crescînd de la starea de inhibiţie a cortexului, la stările de activitate, trecînd prin starea de repaos fiziologic.

E.E.Grafia clinică constituie un capitol important, fiind obiect de cercetare ce se răspîndeşte neîncetat. In cazurile de leziuni cerebrale, valoarea metodei constă atît în localizarea precisă a foca-

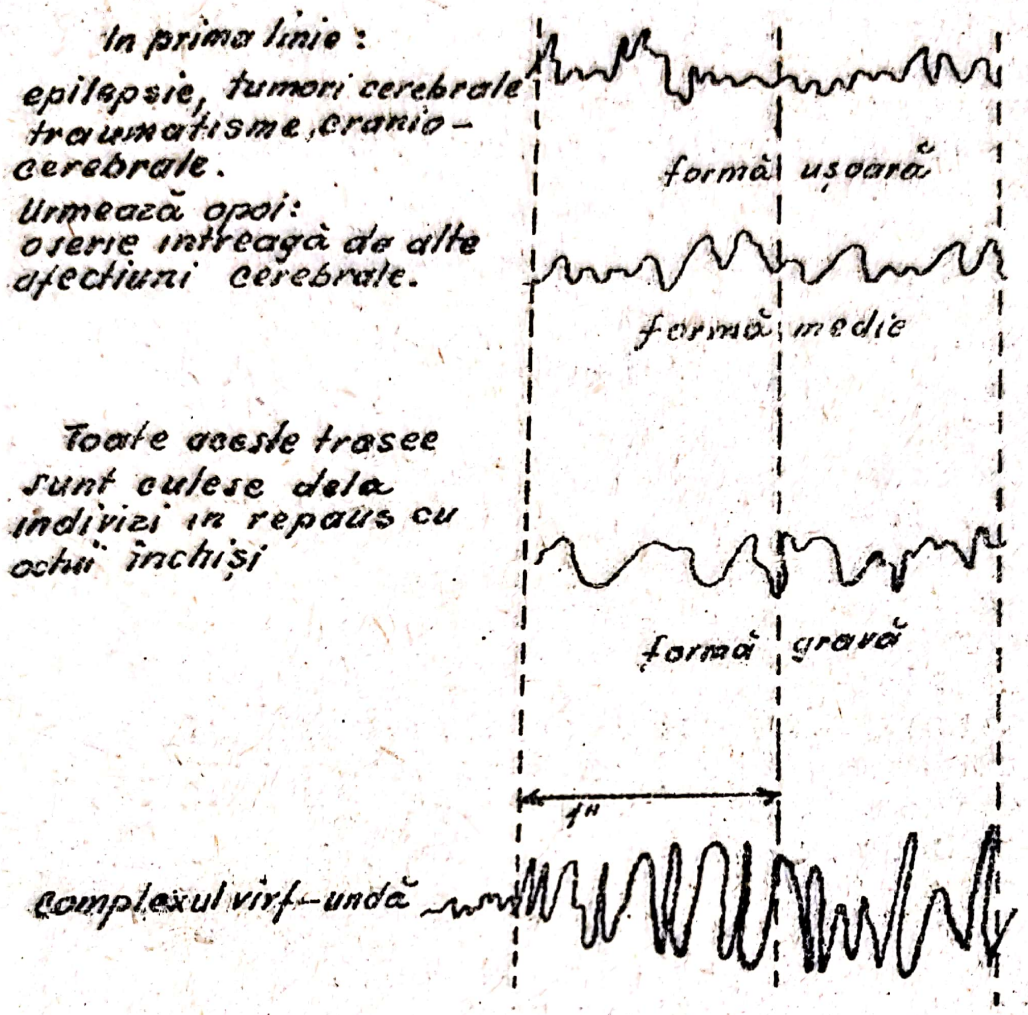
rului patologic cît şi în citirea unei E.E.G. Să studiem pe rînd aceşti doi factori :

Există o serie întreagă de metode pentru descoperirea focarului patologic. Cele mai bune rezultate le-a dat determinarea lui după decalajul de faze al oscilaţiilor lente ale potenţialelor, aşa numita metodă a "fazelor inverse", ce constă în următoarele :



În regiunea presupusă a focarului se aplică trei electrozi, dintre care, doi marginali, sînt aplicaţi în afara limitelor focarului şi unul mijlociu în regiunea focarului. Cei doi electrozi marginali sînt uniţi cu electrodul mijlociu. La înregistrarea concomitentă cu două aparate, în cazul cînd focarul se află într-adevăr între electrozii marginali, undele patologice lente prezintă un decalaj de faze. În acelaşi timp, fiecare ascensiune a undei pe una din E.E.G., corespunde întocmai coborîrii ei pe cealaltă E.E.G.

În ce priveşte citirea unei E.E.G., în anumite stări patologice, aceasta prezintă alterări atît ale frecvenţei cît şi a amplitudinei şi formei acestor unde. Din aceşti trei factori, am mai spus, primul are cea mai mare importanţă. Printre criteriile de anomalitate vine în primul rînd o serie de unde cu o frecvenţă inferioară lui 6 H şi o amplitudine superioară lui 50% undelor vecine. Urmează în al doilea plan, o serie de unde de frecvenţă superioară lui 14 H şi o amplitudine ce depăşeşte 50% ritmul alfa, cu o asimetrie a ritmului în cele două emisfere, cu absenţa reacţiei de oprire la deschiderea ochilor, sau printr-un efort intens la atenţie (Baudoin). Totuşi sînt unde, care au o formă caracteristică; ele fiind constituite dintr-un complex ce cuprinde un vîrf şi o undă rotunjită în cupolă, cu un ritm de 3/sec. Este numit "wawe and spike" de Gibbs, Davis şi Lennox şi "complex vîrf-undă" de Baudoin, ce constituie un semn patognomonic al absenţelor epileticilor, în timp ce criza se acompa-



niază de o succesiune de vîrfuri cu o frecvenţă cuprinsă între 15-20 H.

E.E.G.poate ajuta la stabilirea diagnosticului de epilepsie, în absenţa oricărei crize, prezentînd astfel un interes din p.d.v.medico-legal.Mai are oarecare valoare pentru prognosticul în cursul tratamentului acestei maladii.

In alte afecţiuni cerebrale care modifică E.E.G., se observă în general un ritm încetinit de 1-4 H. care reprezintă una din formele reacţiei nespecifice a ţesutului cerebral care a suferit modificări patologice. La baza acestei forme nespecifice a activităţii electrice a creerului lezat, se află scăderea nivelului general al mobilităţii funcţionale a ţesutului cortical.

Am văzut că în cazul tumorilor cerebrale, înregistrarea simultană a diferenţei de potenţial în mai multe regiuni ale craniului, poate contribui la precizarea locului leziunii. In fine traumatismele

craniene lasă adesea urmări sub forma de tulburări mai mult sau mai puţin accentuate a ritmului şi amplitudinii undelor ceea ce autorizează a presupune o bază organică a sindromului subiectiv post-traumatic.

Metoda electrofiziologică de cercetare devine în prezent una din principalele metode folosite pentru elucidarea legilor care guvernează activitatea nervoasă normală şi patologică.

Alura pseudo-periodică a E.E.G. sugerează ideia că avem de-afacă cu superpoziţia de unde elementare, de frecvenţă şi amplitudine diverse, ce provin din diferite porţiuni ale creerului. Teoria lui Fourier ne arată că orice funcţie periodică poate fi considerată ca suma funcţiilor sinusoidale armonice. Descompunerea unei porţiuni din traseul E.E.G., în componentele sale sinusoidale se face fie prin analiză matematică, fie prin procedeul electromecanic de a izola diferitele vibraţii elementare, prin ajutorul unor filtre, care nu lasă să treacă decît cu unele frecvenţe. Aparatul lui Grass şi Gibbs şi acela lui Grey Walter, dau astfel veritabile spectre ce indică cum se repartizează energia între diferitele frecvenţe. Aceste dispozitive, mult mai rapide decît metoda matematică, prezintă însă inconvenientul de a nu da ca aceasta din urmă, diferenţele de faze între undele componente.

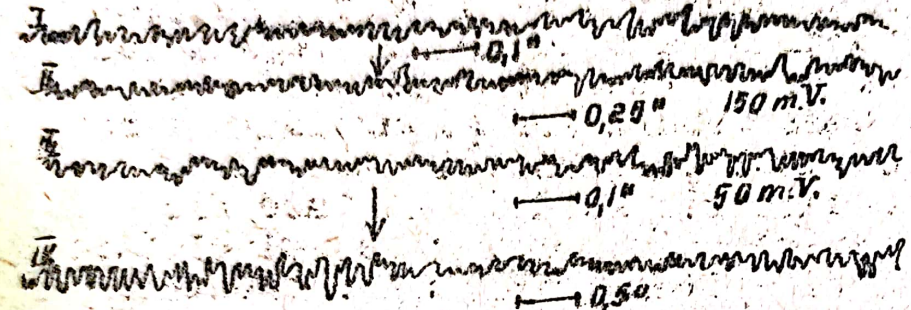
Nu se poate afirma că această decompoziţie permite de a ajunge la fenomenele periodice care se produc în mod real în scoarţa cerebrală, căci, după cum just remarcă Bugnard, potenţialele biologice pe care le studiem izolat se prezintă mai degrabă sub formă de pulsaţii ritmice decît sub formă de oscilaţii sinusoidale.

Totuşi, aceste procedee de analiză furnizează un mijloc de a caracteriza cu mai multă precizie decît examenul de ansamblu, diferitele aspecte sub care se prezintă traseele electro-encefalografice.

Creerul mic este şi el sediul unor curenţi bioelectrici. Pentru a pune în evidenţă se procedează astfel : se face anestezia pielei şi a muşchilor cefei. Se introduce un ac îndreptat spre colosul fosei craniene posterioare, ac în care electrodul îl constituie mandrenul. Acul este apoi îndepărtat, iar electrozii rămîn pe os. Derivaţia poate fi mono sau bipolară.

La om se constată trei tipuri de potenţiale electrice ale cerebelului caracterizate prin următoarele frecvenţe :170-220 H; 30-50 H; 6-8 H. Potenţialele lor sînt foarte mici căci au o amplitudine mică (20-40 μ.).

În afară de aceste frecvenţe se mai înregistrează unde cu o frecvenţă de 10-12 H care prezintă ondulaţii de tipul undelor α supuse depresiunii la excitaţii optice şi acustice în aceeaşi măsură ca şi undele cerebrale. Săgeţile (L) arătate în figură, indică începutul depresiunii ritmului α cînd se proiectează o lumină pe retină.



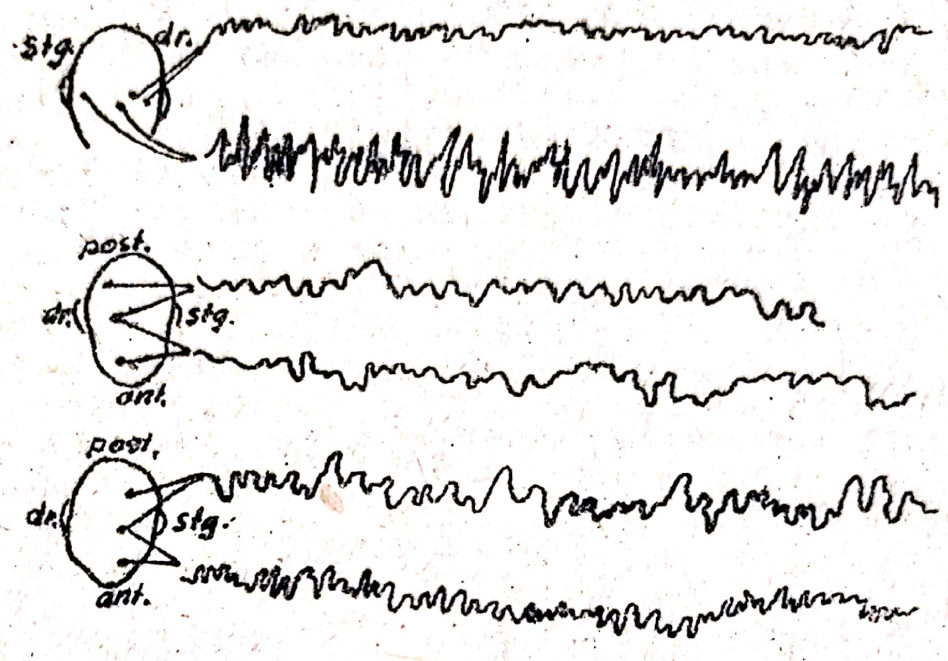
Însă primele trei tipuri ar fi specifice cerebelului, iar ultimul ar fi o reflectare a undelor ce vin din scoarţa cerebrală. Aceleaşi grafice se obţin şi pentru cerebelul denudat la om.

Iată curenţii cerebelului şi ai scoarţei la un bolnav cu o tumoare a fosei craniene posterioare care exercită o compresiune asupra emisferei drepte cerebeloase. Comparînd prima curbă obţinută prin derivaţia bipolară a biocurenţilor din emisfera dreaptă a cerebelului cu cea de a 4-a curbă obţinută din regiunea frontală dreaptă cît şi pe a doua curbă obţinută din emisfera stîngă a cerebelului cu a 6-a din regiunea frontală stîngă, se observă o sincronizare pronunţată a ritmului emisferelor drepte a cerebelului cu ale regiunii frontale drepte (graficul 1 cu 4), precum şi ale emisferei stîngi a cerebelului cu ale regiunii frontale stîngi (graficul 2 cu 6). De partea dreaptă se observă inhibiţia potenţialelor iar de partea stîngă excitarea lor.

Acest exemplu dovedeşte strînsa dependenţă funcţională dintre cerebel şi regiunea frontală a scoarţei cerebrale, deci se pot studia corelaţiile care există dintre scoarţă şi regiunile subcortica-

Scanned with OKEN Scanner

le, dintre scoarţă şi cerebel.

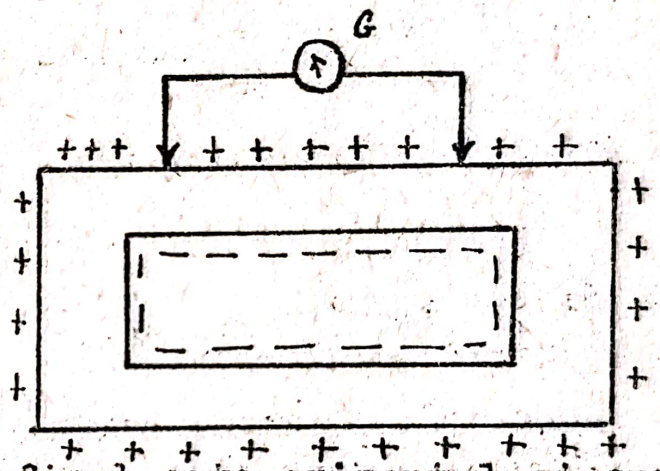


1-2 cerebelograma
3 encefalograma parieto-occipitală cu undele δ.
4 enecefalograma parieto-frontală dreaptă
5 encefalograma parieto-occipitală stîngă cu undele δ.

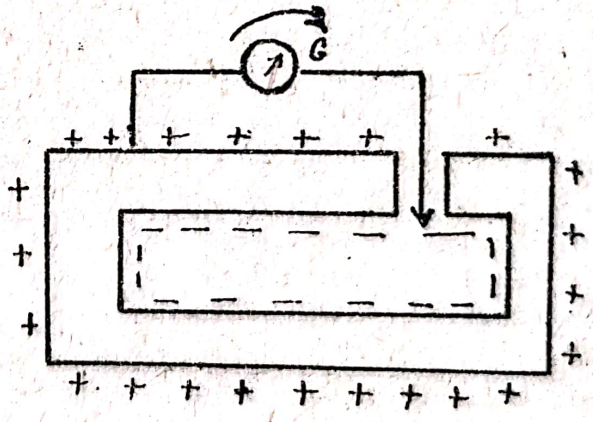
Scanned with OKEN Scanner

Interpretarea fenomenelor bioelectrice. Pentru a putea da o astfel de interpretare ne vom servi de o experienţă din electrofiziologie care utilizează o celulă cu dimensiuni destul de mari pentru a permite manipulări destul de uşoare. Din această cauză ne vom servi de o celulă vegetală, pentru care legile generale ale electrobiologiei sînt la fel cu cele ale celulelor animale şi anume ne servim de alga Nitella, ce este compusă dintr-un lung cilindru de celuloză tapiţat de un strat subţire de protoplasmă ce înconjoară o vacuolă. Dacă nu avem o astfel de algă, ne putem servi de o fibră musculară izolată, dar obţinută fără traumatisme. Indiferent de felul celulei vom observa următoarele:

- dacă aplicăm doi electrozi pe suprafaţa celulei intacte (sau a muşchiului respectiv), vom vedea că acul unui galvanometru foarte sensibil interpus între aceşti doi electrozi, nu marchează prezenţa nici unui curent electric, adică între electrozi nu ia naştere nici o diferenţă de potenţial. Graficul este orizontal şi spunem, în mod arbitrar că are nivelul zero.



- dacă pătrundem cu un electrod pînă în interiorul celulei se vede că acest electrod devine negativ în raport cu celălalt care rămîne pozitiv, fapt care dă naştere în circuitul exterior, unui curent care merge dela electrodul "indemn" la cel "lezat", adică dela pozitiv la negativ. Este deci o cădere de potenţial care se înscrie grafic printr-o linie care coboară pînă se fixează la un alt nivel izoelectric subjacent.



Scanned with OKEN Scanner

Pentru a interpreta aceste fenomene s-au emis mai multe ipoteze şi anume :

1)Teoria ionică (Nernst) se bazează pe proprietăţile membranei vii (Bernstein).

2)Teoria electrocapilară (D'Arsonval).

3)Teoria alteraţiei (Hermann).

4)Teoria moleculară (Du Bois Reymond) de interes aproape istoric.

1.Teoria membranei (Bernstein) după care membrana unei celule oarecare are în stare de repaus o astfel de polarizare, încît suprafaţa ei exterioară este pozitivă în raport cu suprafaţa ei interioară.Deci orice celulă se poate considera o pilă a cărei pol + este în afară şi polul - este înăuntru. Membrana vie poate fi asimilată unei faze lichide nemiscibilă cu mediile celulare şi interstiţiale care o scaldă. Astfel de lanţuri lichide sînt capabile de a produce forţe electromotrice însemnate datorită inegalităţii de difuziune a ionilor dintr-o fază în alta şi datorită diferenţelor de concentraţie ionică de o parte şi de alta a membranei. De aici rezultă că membranele organice se comportă mai mult sau mai puţin semipermeabile pentru unii ioni. Această permeabilitate selectivă va antrena diferenţa de potenţial ce se observă cînd se explorează starea electrică a fibrelor musculare.

In această concepţie îşi găsesc o explicaţie satisfăcătoare şi curenţii de acţiune, dacă se bănuie că membranele prezintă modificări în permeabilitatea lor ionică, sub influenţa excitaţiilor.Această ipoteză este conformă cu faptul că scade polarizarea electrică a pielei prin excitarea nervilor cutanaţi. Bănuind că este deasemeni o creştere a permeabilităţii membranelor cînd ţesuturile intră în activitate, ne putem explica variaţiile electrice observate în momentul funcţionării organelor.

Această teorie îşi găseşte un sprijin serios în proprietăţile coloizilor a căror stare de dispersie şi prin urmare permeabilitatea, pot fi modificate prin acţiunea unor ioni. Ea a putut fi supusă unor verificări cantitative trase din principiile termodinamicei. Nu este mai puţin adevărat că încă nu cunoaştem care sînt părţile din ţesuturi care joacă rolul diferitelor faze admise de teorie şi care sînt ionii faţă de care se exercită această permeabilitate electivă.

Scanned with OKEN Scanner

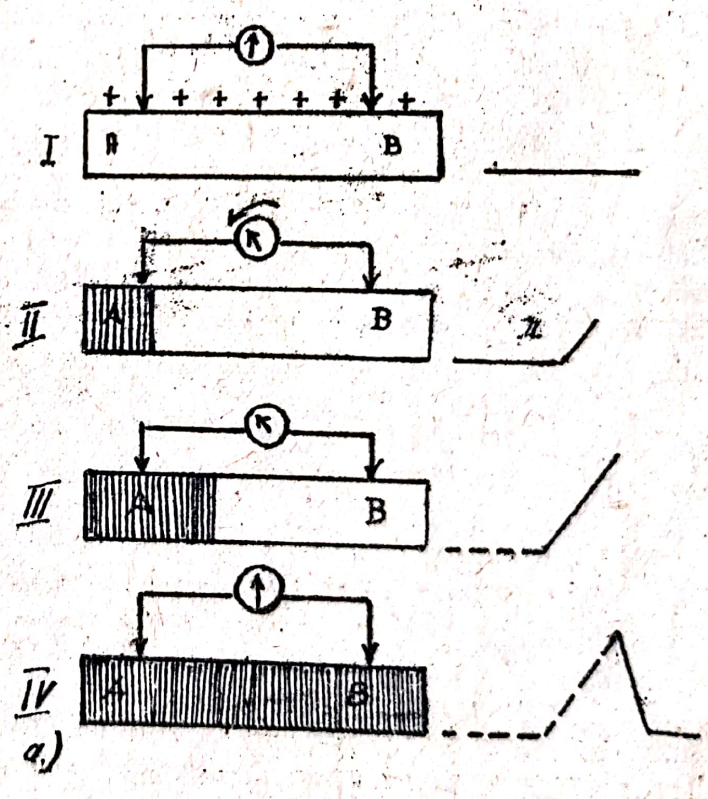
Dacă excităm un punct oarecare al suprafeţei printr-un procedeu nu importă care, se produce în acel loc o depolarizare locală, adică o egalizare a potenţialelor prin leziunea membranei. Dacă excitantul întrebuinţat este curentul continuu, se înţelege că polul negativ va fi acela care este sediul excitaţiei, căci la nivelul său un aport de electricitate negativă va anula sarcina pozitivă a suprafeţei; astfel în acest punct de excitaţie se va propaga în tot lungul organului o undă de negativare care după ce ocupă un spaţiu oarecare, se strînge datorită faptului că celula recuperîndu-şi progresiv starea sa de repaos, se va polariza din nou. Deosebim astfel în activitatea unei celule două stadii :

-un stadiu în care intră în activitate :polarizarea.

-un stadiu de regresiune a activităţii :repolarizarea.

Schematic, fenomenul se prezintă astfel :

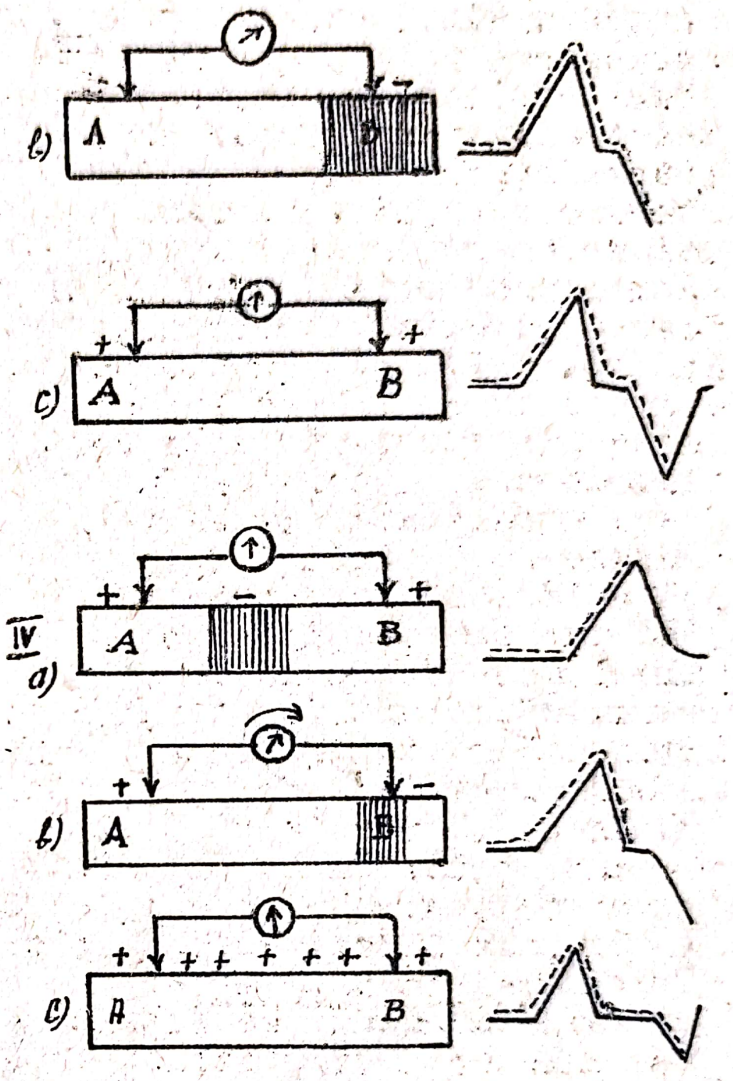
I.Fibra în repaus este polarizată — nu apare nici un curent de acţiune.
II.Inceputul polarizării - fibra excitată în A, este electronegativă în raport cu B. Curentul electric circulă dela B spre A.
III.Polarizare maximă -A este electronegativ la maximum; în tot acest timp se capătă o deflexiune (r)deasupra liniei izo-electrice.
IV.Din acest moment lucrurile diferă după cum avem de-a face cu electrozi apropiaţi unul de altul (fibra musculară)sau depărtaţi(fibra cardiacă).



In cazul fibrei cardiace : a)depolarizare com-

pletă-punctul A şi B prin propagarea excitaţiei în toată fibra, sînt electronegative, aşa că linia ce marchează prezenţa curentului electric, revine la zero.

b)retragerea excitaţiei : în fiecare punct excitaţia durează un timp fix.Dispare deci la început în A,care devine electric pozitiv în raport cu B,încă excitat. Ca urmare curentul curge dela A către B,dînd o deflexiune negativă ce atinge maximum cînd A este polarizat complet.



c)revenirea la repaus :B începînd să fie şi el polarizat, se revine la linia izoelectrică.

In cazul muşchilor scheletici :

a)unda se propagă în aceiaşi direcţie şi ajunge între electrozi,aşa că galvanometrul şi deci curba revine la linia de zero.

b)unda ajunge în B :galvanometrul deviază în sens invers, căpătîndu-se o curbă ce coboară sub linia izoelectrică.

c)revenirea la repaus : cele două puncte, A şi B sînt din nou polarizate, unda revine la normal.

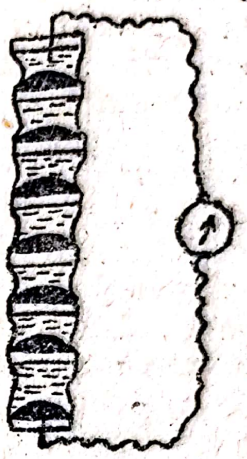
Din toate acestea se deduce :

-curentul de acţiune este consecinţa ruperii echilibrului sarcinilor electrice din fibra musculară,rupere care se face prin excitaţie directă sau indirectă.

-grafic acest curent este bifazic, prima undă este bruscă şi pozitivă (corespunde depolarizării), unda a 2-a este lentă şi negativă (corespunde repolarizării - retragerii excitaţiei).

Scanned with OKEN Scanner

2.-Teoria electrocapilară(D'Arsonval).După acest autor, curentul de acţiune îşi are originea în variaţia suprafeţelor de contact aflate în interiorul organismului. El îşi bazează teoria pe experienţa lui Lippmann în care deformaţia unei picături de Hg.dă naştere unui curent electric. Se ştie că o fibră musculară striată este formată din discuri clare şi întunecate.Prin contracţie suprafeţele de separaţie se deformează,producînd o stare electrică.Tot acest autor probează acest lucru printr-un dispozitiv experimental foarte ingenios, numit muşchiul artificial : un tub de cauciuc este separat în mai multe compartimente prin rondele de argilă poroasă.In fiecare compartiment se introduce cu o siringă Hg.şi apă acidulată.La extremităţile tubului se găsesc bornele legate de un galvanometru. Cînd întindem tubul,galvanometrul deviază. Lăsînd să revie la forma iniţială, deviaţia galvanometrului este de sens contrar.

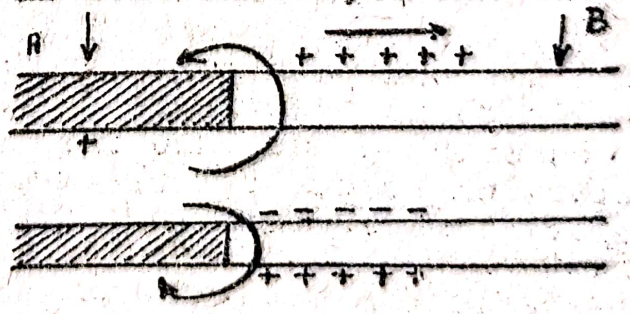


Această teorie nu poate explica decît formarea curenţilor în muşchi. Pentru nervi sau alte ţesuturi cu o alcătuire complet diferită de a muşchiului, ea nu mai este de nici un folos.

3.-Teoria alteraţiei

După Hermann, se explică această propagare, prin existenţa"circuitelor locale"care sînt constituite de un transport de electricitate pozitivă de la părţile intacte spre cele lezate la exterior şi de un transport în sens invers,la interior.

Astfel se consideră curentul de acţiune ca o depolarizare care se propagă şi care, este urmată imediat de o repolarizare. Se înţelege că atingînd



succesiv electrozii exploratori A şi B, această depolarizare va produce în galvanometru o undă difazică, mai întîi în direcţia B-A şi apoi A-B, aşa cum am văzut mai sus. Dacă există o leziune în B, curentul devine monofazic.

Nervul este polarizat negativ în interior şi pozitiv la exterior. Cînd depolarizăm nervul într-un punct, ia naştere un curent electric între acel punct şi regiunea învecinată avînd ca efect depolarizarea ei. Depolarizarea se propagă astfel mai departe din aproape în aproape.

Această teorie permite uşoara interpretare a fenomenelor de modificare a excitabilităţii datorită electrotonusului : deoarece depolarizarea declanşează curentul de acţiune şi prin urmare influxul nervos, se înţelege că excitabilitatea va fi mărită la polul negativ, unde polarizarea este scoborîtă (micşorată) prin neutralizarea parţială a stratului pozitiv exterior şi va fi diminuată la polul pozitiv, unde polarizarea este crescută datorită aportului de electricitate pozitivă.

ACCIDENTELE ELECTRICITATII

Ori de cîte ori corpul uman este străbătut de un curent electric, survin accidente mai mult sau mai puţin grave, uneori chiar mbartea prin electrocutare. Statisticile arată că aceste accidente cresc în frecvenţă pe măsura dezvoltării tehnicii electricităţii, aşa că un medic este obligat să cunoască accidentele produse de electricitate şi mijloacele de apărare contra lor.

Gravitatea unei leziuni electrice depinde de următorii factori fizici :

1) Intensitatea este factorul cel mai important şi fenomenele ce apar în organism sînt direct proporţionale cu ea. Dar după legea lui Ohm, intensitatea este direct proporţională cu tensiunea curentului aplicat şi invers proporţională cu rezistenţa circuitului. Se poate astfel prevedea că riscurile vor fi cu atît mai mari, cu cît va fi şi tensiunea mai mare. Notăm că tensiunile oraşelor sînt cuprinse între 110 şi 220 v; dar tot în oraşe se găsesc şi tensiuni diferite : pentru tracţiuni electrice 500-12.000 v., pentru transportul la distanţe mari 50.000-100.000 v. şi generatorii de curenţi utilizaţi în radiologie 50.000-400.000 v. Sînt cazuri cînd deşi tensiunea este foarte mare (bobine mici de inducţie şi maşini electrostatice) nu sînt riscuri de accidente deoarece astfel de aparate au o rezistenţă interioară foarte mare şi deci nu permit curentului să aibă intensităţi suficient de mari. Celălalt factor de care depinde intensitatea şi anume rezistenţa, aceasta este foarte variabilă în primul rînd în funcţie de felul curentului şi apoi însăşi rezistenţa corpului uman este diferit. Amintim că ea este alcătuită din:

-rezistenţa organelor interne (de obicei fixă);

-rezistenţa pielii (foarte variabilă în funcţie de grosime, umiditate, etc.);

-rezistenţa de contact (variabilă : îmbrăcăminte, etc.).

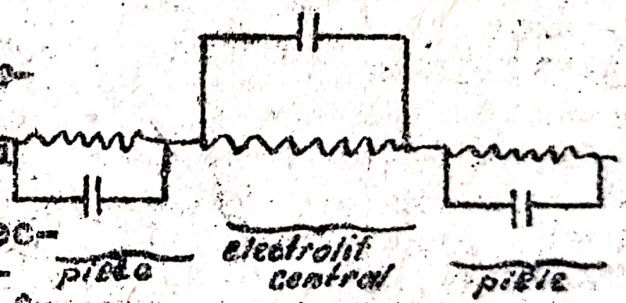
Astfel pielea palmelor bătătorite are o rezistenţă foarte mare, provocînd de multe ori la trecerea curentului, doar efect Joule. Deoarece foarte rar un individ face legătura directă cu cei doi poli prin intermediul corpului său şi cum unul din polii sursei de curent este pus în legătură întotdeauna cu pămîntul, subiectul face legătura cu un

singur pol şi prin intermediul unui obiect oarecare (cada de baie, cimentul de pe jos,etc) face legătura cu pămîntul şi deci şi cu celălalt pol.

S-a dovedit că o intensitate de 0,1 A (100 mA) omoară în mod sigur un om, iar cea de 50 mA produce deseori moartea. Aşa că la tensiunea obişnuită de 110 v dacă corpul nu opune o rezistenţă mai mare de 1100 ω ,curentul ajunge la valoarea critică de 0,1 A. Cum de obicei rezistenţa cea mai mare a corpului uman este de 10.000 ω ,curentul omoară dela tensiuni de 500 v cînd are cel puţin 50 mA. Deci tensiunile de 110-220 v pot fi mortale în unele cazuri, iar în celelalte(lucrurile se petrec ca în bolile de inimă) se poate muri în anumite cazuri.

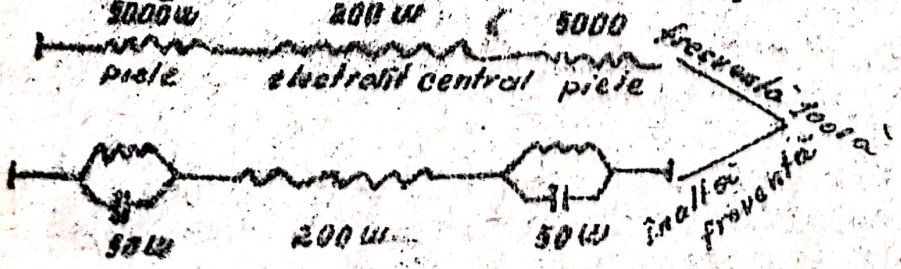
2. Frecvenţa curentului contribuie la modificarea rezistenţei şi iată cum :

Organismul este considerat ca un electrolit cu o rezistivitate şi constantă dielectrică definite, înconjurat de o anvelopă cutanată foarte rezistentă la curentul electric. Deci pielea se consideră ca o rezistenţă shuntată de un condensator căci conţine elemente izolante (stratul cornos) şi elemente conducătoare (canale sudoripare,vase).Considerînd că pielea este perfect uscată, rezistenţa organismului variază cu forma curentului.



a)Pentru joasă frecvenţă curentul alternativ este oprit aproape în întregime de elementul capacitant al pielii, el trebuind să treacă prin elementul rezistent (canal glandular, pori, vase) unde întîlneşte o rezistenţă mare (cca.5000 ω). Electrolitul central are o rezistenţă foarte mică (200 ω). Deci rezistenţa totală va fi de 10.000 ω (5000 + 200 + 5000).

b)Pentru înalta frecvenţă, din contra capacitatea pielii oferă o rezistenţă foarte mică aşa că



intensitatea va fi cu atît mai mare, cu cît este mai mare frecvenţa. Rezistenţa pielii scade astfel la 50 ω ,în total fiind o rezistenţă de 300 ω (50+200+50). Acest curent trecînd prin piele este deviat, energia electrică cheltuindu-se astfel în electrolitul central.

c)Pentru ultrascurte. La dielectricul reprezentat de piele se adaugă şi un strat de aer ce diminuă foarte mult capacitatea condensatorului, fapt care are ca rezultat, creşterea capacităţii. Curentul întîlneşte astfel o rezistenţă aparentă foarte mare şi cade la valori practic nule.Pentru a reduce capacitanţa, pentru a compensa diminuarea lui se creşte pulsaţia (ω). Deoarece pielea nu este uscată (sudoarea o umectează chiar dela începutul aplicaţiei), impedanţa dielectricului cutanat este suprimată şi curentul trece prin rezistenţă ohmică : pielea se încălzeşte. In cazul ultrascurtelor, din cauza stratului de aer, curentul trece prin capacitanţă şi pielea se încălzeşte mult mai puţin decît electrolitul central.

Din cele de mai sus rezultă că electrolitul central are o rezistenţă mai mult sau mai puţin constantă. In realitate ţesuturile au rezistenţe diferite : sînge uman 200-300 ω ;urină (om)38-180 ω piele (iepure)11.000 ω ;os (broască)2200 ω ;ficat (broască)220 ω ;muşchi (cîine)1100-2000 ω şi o constantă dielectrică (ε)diferită :lichidele organismului ε =75-85 iar organele ce conţin aer (pulmon, grăsime) ε=10-25, iar pielea şi aponevroza şi mai mică. Electrolitul central este astfel împărtit, divizat, de ţesuturi mai mult sau mai puţin conductoare, aşa că se poate figura cu o mulţime de rezistenţe montate în serie şi paralel. In organism nu există astfel nici conductori, nici dielectrici perfecţi.

3. Durata de acţiune. Deşi tulburările respiratorii şi circulatorii ce produc moartea survin rapid, durata de acţiune a curentului este un factor de care trebuie ţinut seama.

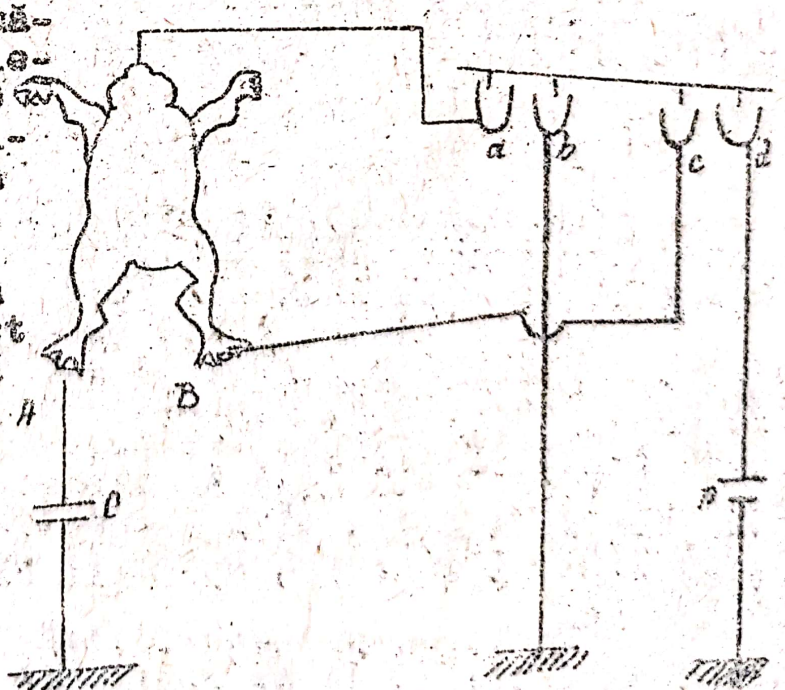
4. Traiectul curentului prin organism poate şi el influenţa prognosticul. Dacă curentul întîlneşte în drumul său cordul, efectele vor fi mai grave.(Curentul ce intră printr-o mînă şi iese prin picioare, străbate aproape toate organele vitale).

BIBLIOTECA CENTRALĂ
REGIONALĂ
IAȘI

5/Guéry a atras atenţia asupra unui fapt puţin cunoscut că este mare pericol de a atinge un singur conductor a unei linii de curent alternativ de înaltă tensiune, chiar dacă linia este perfect izolată. Pericolul este cu atit mai mare, cu cit capacitatea liniei este mai mare, indiferent de izolant. Calculul a arătat că un om atingînd un conductor monofasat de 10.000v se expune unei tensiuni de 5.000 v., lucru pe care nu l-a ştiut un român maramureşean şi pe care l-a costat viaţa, atingînd "drotul".

6/Forma curentului. In timp ce curentul continuu nu dă excitaţii decit foarte scurte /o miime de secundă/ în momentul închiderii şi deschiderii circuitului, curentul alternativ provoacă excitaţii la fiecare alternanţă. Din această cauză se admite că în mijlociu curentul alternativ este de 4 ori mai periculos decit cel continuu şi că accidentele primejdioase pentru primul curent incep dela 25 mA. iar pentru cel continuu dela 50-100 mA. Dintre frecvenţe, cea mai periculoasă este cea de 45-50 pericade.

Curentul continuu deşi este mai puţin periculos, dă naştere la accidente grave în ce priveşte starea funcţională a membrelor victimilor. O ingenioasă experienţă a lui Weiss probează şi explică acest lucru : o broască are laba A legată de armătura internă a unui condensator C a cărui armătură externă este legată cu pămîntul. O mică pîrghie metalică MN, oscilează în jurul lui O, iar a, b, c şi d sînt mici cupule cu mercur în care pot lua contact mici ace de platină fixate de pîrghia oscilantă. P este un element al cărui pol negativ este în legătură cu pămîntul şi polul positiv este legat de cupula d. Celelalte legături se explică prin figură.



Cînd pîrghia MN oscilează la dreapta, se face

contactul în c şi d şi se rupe în a şi b. Condensatorul C se încarcă printr-un curent ascendent în B, descendent în A. Cînd pîrghia revine la stînga, contactul se rupe în c şi d şi se restabileşte în a şi b. Descărcarea condensatorului se face prin A numai în sens ascendent.

Se lasă să oscileze pîrghia MN un timp oarecare. Se observă că laba B nu a fost traversată decît de descărcări ascendente, în timp ce laba A de descărcări alternative. Dacă experienţa a fost prelungită,se constată că nici laba A, nici laba B nu mai răspund la excitaţii, amîndouă părînd tot aşa de obosite. Dar în timp ce laba A care a primit un număr de excitaţii duble faţă de B, se reface complet, contractibilitatea în B nu se restabileşte. S-a demonstrat că B este sediul unei polarizări ce nu se găseşte în A. Mai mult, dacă se lasă broasca într-un acvariu, aceasta se serveşte rapid de laba stîngă, în timp ce laba dreaptă devine sediul unei atrofii musculare progresive. Broasca capătă o incapacitate funcţională permanentă a labei drepte.

Practica a arătat că un individ ce a scăpat de pericolul electrocutării prin curent alternativ, nu capătă decît cîteva arsuri care odată vindecate, totul reintră în ordine, în timp ce în cazul curentului continuu trebue să fim foarte circumspecţi şi rezervaţi în ce priveşte urmările accidentului.

7/Atenţia este un factor important, ea mărind puterea de apărare a organismului căci sistemul nervos central atent la iminenţa unui curent electric, modifică reactivitatea organismului.

Somnul şi narcoza reduc mult accidentele.

Mecanismul morţii prin electrocutare. Deşi nu este perfect cunoscut, totuşi curentul electric acţionează asupra organismului prin :

- Efect excito-motor asupra nervilor şi muşchilor. Se poate prevedea că acţionînd asupra nervilor pneumogastric şi simpatic cervical, nervi ce comandă funcţiile vitale, se poate căpăta moartea. Se ştie că inima este pusă în mişcare de un curent cu o tensiune de 0,001 v şi o intensitate de 0,000.001 A, peste care se suprapun curenţii de sute de volţi şi 50-100 ma.

- Fenomene de electroliză. Apar în cazul curentului continuu şi se manifestă prin apariţia de escare superficiale şi leziuni interne datorită polarizării interpolare.

—Prin efect Joule în raport cu energia înmagazinată în ţesuturi.

Autopsiile nu relevă decît leziuni banale de congestie în organe. Se pare că moartea survine prin fibrilaţie auriculară /pentru tensiuni mici/ sau prin inhibiţie respiratorie /pentru tensiuni ridicate/.

In America se execută pedeapsa electrocutării ce constă dintr-un generator de curent alternativ cu 2000 v şi din scaunul electric pe care se aşează condamnatul. Execuţia se face cu tensiunea de 2000v aplicată de 3-4", redusă apoi la 500 v timp de 60", acelaşi procedeu repetîndu-se încă de două ori /total 3 ori/. "Specialiştii" pretind că moartea survine instantaneu şi fără durere deoarece respiraţia şi circulaţia încetează dela primul contact. Totuşi sînt şi păreri contrare, care au găsit sprijin destul de puternic căci în unele cazuri este verba numai de o moarte aparentă.

Tratamentul accidentaţilor electrici. Se rezumă la următoarele reguli :

1. Să se sustragă cît mai repede posibil victima efectelor curentului. In cazul curenţilor de înaltă tensiune trebue întrerupt mai întîi curentul şi apoi să se intervină.

2. Să se trateze electrocutatul ca şi un înnecat, adică să i se facă respiraţie artificială timp foarte îndelungat prin toate procedeele cunoscute.

B I B L I O G R A F I E

1.-Achalme P.: Electronique et biologie
2.-Andreev L.,etc.: Manual de fiziologie
3.-Angelescu E.:Introducere in chimia fizică
4.-Aseev B. :Bazele radiotehnicei.
5.-Bălţaţu V.I. : Manualul radiopracticianului.
6.-Bărbulescu N. :Elemente de electricitate biologică
7.-Biancani E.şi H. : Les rayons ultraviolets.
8.-Bistriceanu T.V. :Electricitatea medicală
9.-Bacinschi A.T.-Iliasenco S.M.:Fizica /2vol.
10.-Bogdan P. : Introducere în electrochimie.
11.-Bogdanov I.M.-Craceviac G.M. :Manual de igienă pt.institutele de cultură fizică.
12.-Bordier : Précis d'électrotherapie.
13.-Bourguignon : La chronaxie chez l'homme.
14.-Boutaric A. : Précis de Physique.
15.-Bruhat G. : Cours de Physique Générale /electricité/
16.-Cabrera E.: Bazes electrophysiologiques de l'électro-cardiographie.
17.-Cork M.J.: Radioactivitaté et Physique nucléaire
18.-Colectivul de fizică medicală Bucureşti : Curs de Fizică Medicală.
19.-Croneberg P.M. : Elemente de Fizică
20.-Crug C.A. : Bazele electrotehnicei/2 vol./
21.-Curepin F.C. : Despre curentul electric.
22.-Delherm-Laquériére :Traité d'electro,radiotherapie.
23.-Dubuisson M. : Polarisation et depolarisation cellulare.
24.-Dubuisson M. :Les ionogrammes de la contraction musculaire.
25.-Fattorusso et Ritter O. :Atlas d'Electrocardiographie.
26.-Friş S.E. şi Timoreva A.V.:Curs de fizică generală /Vol.III/.
27.-Georgescu St. : minunata poveste a electronului.
28.-Grégorie Gh. :microscope eléctronique et recherche biologique.
29.-Herscovitz : Diaterr'a.
30.-Heyrowski : practica polarografică.
31.-Holzer W. : Physikalische Medizin.
32.-Drăgoiu C.-Crişan C.: Elemente de histologie.
33.-Joubert J. : Traité elementaire d'Electricité.
34.-Jouniaux M.A. :potenticométrie.
35.-Kahan T.-Magnan U. :L'energie atomique et ses applications.

36.-Konteschweller M. : radioelectricitate.
37.-Kopaczewschi W. :théorie et pratique des colloides.
38.-Laquer A.-Kowarschik J. :die Praxis der Phyaikalischen therapie.
39.-Lobel T. :Electrocardiografia.
40.-Lecher E. : Lehrbuch der Physik.
41.-Manualul inginerului electrician /2 vol/.
42.-Martinet A. : therapeutique clinique.
43.-Ministerul Energiei Electrice : elemente şi baterii galvanice.
44.-Minist.Industriei Chimice : electrochimie şi electrotermie.
45.-Morton I. : Oscilograful catodic.
46.-Negru D. : Radiologie Medicală.
47.-Negru D. : Radioterapie Medicală
48.-Negru D. : Radiodiagnostic.
49.-Nogier : electrotherapie.
50.-Opreanu : Curs de fizică medicală
51.-Ostwald W. : manipulations de chimie colloidale.
52.-Oudin-Zimmern : radiotherapie,radium,photo,thermo-therapie.
53.-Palladin A.V.:Manual de chimie biologică.
54.-Perovici C. : Introducere in polarografie.
55.-Perrin J. : Atomii.
56.-Popescu I. : Lumea electronilor.
57.-Procopiu St. : electricitate şi magnetism /2 vol/.
58.-Rosselet A. :traité d'helio et actimologie du Gh. Brody.
59.-Sigalas C-Wangermez C. :Précis de physique aplique á la pharmacie.
60.-Simon G.Dognon A. : Physique.
61.-Sotirescu - Ciocionică : electricitatea industrială. /3 vol./.
62.-Strohl A.-: Précis de physique medicale.
63.-Strohl A.-Desgres H. : traité d'electro-radiotherapie.
64.-Suschin N.G. : microscopul electronic.
65.-Taum I.E. : Bazele teoriei electricităţii.
66.-Tiagosov G.A. : Tuburi electronice.
67.-Vignal : electrothérapie.
68.-Weil A. :manual d' électrothérapie et d'electrodiagnostic.

E R A T A

pag.	rînd	în loc de	se va citi
1.	29 sus	construit Procopie	construit de Procopie
2.	4 "	Polonia	Bologna
2.	26 "	magnetelor	magneţilor
4.	25 "	ample	amplă
18		formula : $E=q/\varepsilon . r.$	$E=q/\varepsilon . r^2$
64	7 de jos	soluţie clorură	soluţie de clorură.